

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа  
Кафедра «Пожарная безопасность»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.Н. Минкин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**  
20.05.01 «Пожарная безопасность»

Разработка мер пожарной безопасности МАОУ СОШ №1 г. Енисейска

Научный руководитель	_____ подпись, дата	<u>доцент</u> должность, ученая степень	<u>Е. В. Мусияченко</u> инициалы, фамилия
Выпускник	_____ подпись, дата		<u>В. С. Павлов</u> инициалы, фамилия
Рецензент	_____ подпись, дата	<u>Зам. нач. каф.</u> <u>Тактики и аварийно-</u> <u>спасательных работ</u> <u>ФГБОУ ВО</u> <u>Сибирская аварийно-</u> <u>спасательная</u> <u>академия ГПС МЧС</u> <u>России,</u> <u>канд.пед.наук</u> должность, ученая степень	<u>Н.В. Москвин</u> инициалы, фамилия
Консультанты:			
Часть БЖД	_____ подпись, дата	<u>доцент,</u> <u>канд.техн.наук</u> должность, ученая степень	<u>А.Н. Минкин</u> инициалы, фамилия
Экономическая часть	_____ подпись, дата	<u>доцент,</u> <u>канд.техн.наук</u> должность, ученая степень	<u>С.Н. Масаев</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____ подпись, дата	<u>ассистент</u> должность, ученая степень	<u>О.В.Помолотова</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2017

## РЕФЕРАТ

Целью дипломной работы является обеспечение пожарной безопасности МАОУ СОШ №1 за счет внедрения мероприятий, снижающих пожарный риск.

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ВРЕМЯ ЭВАКУАЦИИ, ПОЖАРНЫЕ РИСКИ, РАЗРАБОТКА МЕР ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.

В дипломной работе рассчитано время эвакуации и пожарные риски, предложена установка речевой системы оповещения для улучшения пожарной безопасности МАОУ СОШ №1.

В работе приведены и кратко рассмотрены структура школы, пожарная безопасность, подсчитана экономическая эффективность.

Дипломная работа содержит пояснительную записку и графическую часть. Пояснительная записка включает в себя 72 страниц текста, 29 формулы, 35 рисунков, 20 таблиц, 30 использованных источников. Графическая часть состоит из 5 листов формата А1.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
1. Основы законодательства в области пожарной безопасности.....	7
1.1 Общие положения.....	7
1.2 Требования ФЗ-123 к системам обеспечения пожарной безопасности .....	9
1.3 Анализ пожарной опасности объекта защиты .....	12
1.4 Требования нормативных правовых актов .....	14
1.5 Основные мероприятия и направления деятельности по обеспечению пожарной безопасности .....	15
2. Оперативно-тактическая характеристика объекта .....	19
2.1 Общие сведения об объекте .....	19
2.2 Строительные конструкции и материалы объекта .....	21
2.3 Характеристика первичных средств пожаротушения .....	22
2.4 Характеристика энергоснабжения и коммуникаций .....	23
2.5 Система противопожарной защиты .....	24
2.6 Анализ причин возникновения пожара .....	25
2.7 Действия персонала школы при пожаре до прибытия подразделений пожарной охраны .....	26
3 Анализ здания, расчёт времени эвакуации и пожарных рисков .....	28
3.1 Анализ на соответствие требованиям пожарной безопасности .....	28
3.2 Расчёт времени эвакуации.....	28
3.2.1 Эвакуация из мест начального размещения людских потоков.....	28
3.2.2 Формулировка математической модели и моделирование эвакуации людей из здания при пожаре.....	30
3.2.3 Принципы составления расчетных схем и определения расчетного времени эвакуации людей .....	34

3.2.4. Расчетные схемы и определение расчетного времени эвакуации людей из здания .....	39
3.2.5. Расчет вероятности эвакуации людей .....	40
3.3 Моделирование пожара .....	40
3.3.1. Выбор сценария пожара .....	40
3.3.2 Формулировка математической модели и моделирование динамики развития пожара .....	41
3.3.3 Определение времени блокирования путей эвакуации по рассмотренным сценариям .....	43
3.3.4 Расчет величины индивидуального пожарного риска для рассматриваемого объекта защиты .....	52
3.3.5 Общие выводы по результатам расчетов.....	55
3.4 Мероприятия для снижения пожарного риска .....	55
3.5 Расчет величины индивидуального пожарного риска для рассматриваемого объекта защиты при СОУЭ 3 типа .....	56
3.6. Общие выводы по результатам расчетов .....	58
4 Безопасность жизнедеятельности.....	59
4.1 Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов .....	59
4.2. Инженерные и организационные решения по обеспечению безопасности работ .....	59
4.3 Санитарные требования к помещениям .....	60
4.4 Обеспечение безопасности технологического процесса .....	61
4.5. Обеспечение взрывопожарной и пожарной безопасности .....	66
4.6. Обеспечение безопасности в аварийных и чрезвычайных ситуациях.....	67
5. Экономическая часть.....	70
5.1 Расчет затрат на приобретение системы речевой оповещения .....	70
5.2 Расчет затрат на монтаж оборудования .....	71
5.3 Расчет основной заработной платы .....	72

5.4 Расчет затрат на увеличение ширины эвакуационных выходов .....	75
5.5 Расчет затрат на установку дверей .....	75
5.6 Затраты на расчет пожарных рисков .....	76
5.7 Экономическая эффективность .....	76
Заключение.....	78
Список сокращений.....	79
Список использованных источников.....	80

## **ВВЕДЕНИЕ**

Пожары наносят большой материальный ущерб и очень часто влекут за собой человеческие жертвы, поэтому профилактика пожарной защиты является достаточно актуальной проблемой обеспечения безопасности людей.

Целью дипломной работы является разработка мер противопожарной защиты учреждений на примере Енисейской общеобразовательной школы №1.

В дипломной работе дана характеристика объекта защиты и предложены мероприятия по обеспечению пожарной безопасности объекта, защиты людей и имущества от воздействий опасных факторов пожара.

Объектом исследования является Енисейская средняя общеобразовательная школа №1.

Результаты, полученные в ходе выполнения дипломной работы, будут использованы для обеспечения противопожарных мероприятий на данном объекте.

# **1 Основы законодательства в области пожарной безопасности**

## **1.1 Общие положения**

Федеральный закон №69-ФЗ «О пожарной безопасности» определяет общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации.

Пожарной безопасностью является состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров.

Пожарная безопасность реализуется системой обеспечения пожарной безопасности, т.е. совокупностью сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на борьбу с пожарами. [26]

Основными функциями системы являются:

- нормативное правовое регулирование в области пожарной безопасности;
- создание пожарной охраны и организация ее деятельности;
- разработка и осуществление мер пожарной безопасности;
- реализация прав, обязанностей и ответственности в области пожарной безопасности;
- проведение обучения населения мерам пожарной безопасности;
- тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ;
- учет пожаров и их последствий и др.

Согласно ФЗ-123 руководители организаций осуществляют непосредственное руководство системой пожарной безопасности в пределах своей компетенции на подведомственных объектах и несут персональную ответственность за соблюдение требований пожарной безопасности. [26]

В соответствии с ФЗ-123 под пожарной безопасностью объекта защиты понимается состояние объекта защиты, характеризующееся возможностью

предоставления возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и имущество опасных факторов пожара.

Под опасными факторами пожара понимаются факторы, воздействие которых может привести к травме, отравлению или гибели человека и (или) к материальному ущербу. [26]

Правила пожарной безопасности – комплекс положений, устанавливающих порядок соблюдения требований и норм пожарной безопасности при строительстве и эксплуатации объекта.

Противопожарное состояние объекта – состояние объекта, характеризующее числом пожаров и ущербом от них, числом загораний, а также травм, отравлений и погибших людей, уровнем реализации требований пожарной безопасности, уровнем боеготовности пожарных подразделений и добровольных формирований, а также противопожарной агитации и пропаганды.

Противопожарный режим – комплекс установленных норм поведения людей, правил выполнения работ и эксплуатации объекта (изделия), направленных на обеспечение его пожарной безопасности.

Противопожарный режим на объекте защиты устанавливается декларацией пожарной безопасности, как формой оценки состояния, содержащей информацию о мерах пожарной безопасности, направленных на обеспечение на объекте защиты нормативного значения пожарного риска.

Пожарный риск представляет собой меру возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей

Пожарный риск подразделяется на:

- допустимый – уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий
- социальный – степень опасности, ведущей к гибели группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара



- индивидуальный – который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара.

Нормативное значение пожарного риска:

- в зданиях и сооружениях величина индивидуального пожарного риска не должна превышать значения  $10^{-6}$  в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения и строения точке;

- для производственных объектов

а) величина индивидуального пожарного риска не должна превышать  $10^{-6}$  в год в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов, а для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, не должна превышать  $10^{-8}$  в год;

б) величина социального пожарного риска воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта не должна превышать  $10^{-7}$  в год.

Добровольная пожарная охрана – форма участия граждан в обеспечении первичных мер пожарной безопасности.

Первичные меры пожарной безопасности – реализация принятых в установленном порядке норм и правил по предотвращению пожаров, спасению людей и имущества от пожаров.

## **1.2 Требования ФЗ-123 к системам обеспечения пожарной безопасности**

Каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности.

Целью создания системы обеспечения пожарной безопасности является:

- предотвращение пожара,
- обеспечение безопасности людей,
- защита имущества при пожаре.

Система обеспечения пожарной безопасности включает:

- систему предотвращения пожара,
- систему противопожарной защиты,
- комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Система предотвращения пожара – комплекс организационных мероприятий и технических средств, исключающих возможность возникновения пожара на объекте защиты.

Целью создания системы предотвращения пожаров является исключение условий возникновения пожаров, которое достигается исключением условий образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания.

Под горючей средой понимается среда, способная воспламеняться при воздействии источника зажигания. В общем случае – это совокупность горючих веществ и окислителя (веществ и материалов, обладающих способностью) вступать в реакцию с горючими веществами, вызывая их горение (распространение пламени), а также увеличивать его интенсивность. Обычно окислителем является кислород воздуха.

Система противопожарной защиты – комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на защиту людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение последствий воздействия опасных факторов пожара на объект защиты (продукцию).

Целью создания противопожарной защиты является защита людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение его последствий, которая обеспечивает:

- снижение динамики нарастания опасных факторов пожара;

- эвакуация людей и имущества в безопасную зону и (или) тушение пожара.

Состав и функциональные характеристики устанавливаются:

- для системы предотвращения пожаров – ФЗ-123 и нормативными документами по пожарной безопасности;
- для систем противопожарной защиты – нормативными документами по пожарной безопасности.

Функциональные характеристики систем обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений:

- должны соответствовать требованиям, установленным ФЗ-123;
- величина индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях с массовым пребыванием людей, зданиях и сооружениях повышенной этажности, а также в зданиях и сооружениях с пребыванием детей и групп населения с ограниченными возможностями передвижения должна обеспечиваться в первую очередь системой предотвращения пожара и комплексом организационно-технических мероприятий;
- система противопожарной защиты зданий и сооружений должна обеспечивать возможность эвакуации людей в безопасную зону до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара;
- функциональные характеристики систем обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, а также их инженерного оборудования определяются в соответствии с техническими регламентами для данных объектов, принятыми в соответствии с ФЗ-69, для данных объектов и (или) нормативными документами по пожарной безопасности.

Пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной при выполнении одного из следующих условий:

- в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии ФЗ-69, и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим ФЗ-123;

- в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с ФЗ-69, и нормативными документами по пожарной безопасности.

Расчет пожарного риска не требуется, если:

- в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с ФЗ-69, и нормативными документами по пожарной безопасности;

- для объектов защиты, которые были введены в эксплуатацию или проектная документация на которые была направлена на экспертизу до дня вступления в силу ФЗ-123.

Расчет по оценке пожарного риска является составной частью декларации пожарной безопасности или декларации промышленной безопасности (на объектах для которых они должны быть разработаны в соответствии с законодательством Российской Федерации). [26]

### **1.3 Анализ пожарной опасности объекта защиты**

Анализ пожарной опасности и оценка пожарного риска выполняются только для производственных объектов и технологических процессов, для оценки пожарной опасности зданий классов функциональной пожарной опасности Ф1-Ф4. [26]

Пожарный риск – мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей.

Расчет пожарного риска – оценка воздействия на людей поражающих факторов пожара и принятых мер по снижению частоты их возникновения и последствий.

Расчет по оценке пожарного риска (расчет пожарного риска) проводится с целью обоснования отступлений от требований нормативных документов по пожарной безопасности:

- необходимость монтажа противодымной защиты;

- необходимость монтажа автоматической установки пожаротушения;
- заужение путей эвакуации (дверных проемов, ширины коридора, ширины лестничного марша);
- необходимость устройства дополнительного эвакуационного выхода;
- другие требования к путям эвакуации.

Анализ пожарной опасности включает в себя следующие направления:

1) Определение наличия сгораемых веществ и материалов, обращающихся в здании и их взрывопожарной и пожарной опасности.

2) Определение наличия потенциальных источников зажигания и их зажигательной способности.

3) Моделирование ситуаций, при которых возможен аварийный режим работы технологического оборудования (установок, устройств, аппаратов, оборудования), в том числе и от неверных действий обслуживающего персонала.

4) Выявление наиболее взрывопожароопасных помещений, зданий и сооружений по наличию сгораемых материалов и потенциальных источников зажигания.

5) Моделирование развития возможного пожара в здании или помещении, направления распространения огня и дыма, действия рабочих и служащих по сигналу пожарной тревоги.

6) Анализ достаточности и полноты выполнения мероприятий технической (конструктивной) защиты зданий, сооружений и технологических процессов организации.

7) Определение необходимого количества первичных средств пожаротушения, необходимости устройства автоматических систем пожарной сигнализации и пожаротушения, исходя из расчета возможного максимального ущерба от смоделированного пожара на предприятии и требований норм и правил пожарной безопасности.

8) Определение наличия и достаточности для целей пожаротушения ближайших к предприятию водоисточников. Необходимость устройства внутреннего противопожарного водопровода.

9) Расчет необходимых сил и средств для ликвидации возможных пожаров в организации, исходя из удаленности городской пожарной части. Необходимость учреждения добровольной пожарной охраны.

Анализ пожарной опасности заключается в определении условий образования горючей среды и появления в ней источников зажигания, приводящих к пожару; вероятных путей распространения пожара; необходимых средств технической (конструктивной) защиты, а также систем сигнализации и пожаротушения с параметрами инерционности срабатывания (введения в действие) соответствующими динамике развития пожара на объекте.

#### **1.4 Требования нормативных правовых актов**

Техническое регулирование в области пожарной безопасности осуществляется в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, путем принятия соответствующего технического регламента. [26]

Нормативное правовое регулирование в области пожарной безопасности представляет собой принятие органами государственной власти нормативных правовых актов по пожарной безопасности. [26]

К нормативным правовым актам Российской Федерации по пожарной безопасности относятся «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», принятый в соответствии с Федеральным законом «О техническом регламенте», федеральные законы и иные правовые акты Российской Федерации, устанавливающие обязательные для исполнения требования пожарной безопасности.

Нормативное регулирование в области пожарной безопасности — установление уполномоченными государственными органами в нормативных

документах обязательных для исполнения требований пожарной безопасности. [26]

Приказы и инструкции о мерах обеспечения пожарной безопасности, разработанные и утвержденные в установленном порядке, являются основными нормативными документами в учреждениях и организациях.

Приказы вводят в действие основные положения, инструкции и рекомендации в части организации предупреждения и возникновения пожара. Приказом назначаются ответственные за пожарную безопасность в структурных подразделениях учреждения и регламентируется деятельность структурных подразделений по обеспечению пожарной безопасности, а также в случае возникновения пожара.

### **1.5 Основные мероприятия и направления деятельности по обеспечению пожарной безопасности**

Система мероприятий по обеспечению пожарной безопасности в организациях и учреждениях складывается из трех основных групп:

- 1) Мероприятия по установлению противопожарного режима.
- 2) Мероприятия по определению и поддержанию надлежащего противопожарного состояния во всех зданиях, сооружениях, помещениях, участках, площадках, кабинетах, отдельных местах и точках.
- 3) Мероприятия по контролю, надзору за выполнением правил пожарной безопасности при эксплуатации, ремонте, обслуживании зданий, сооружений, помещений, коммунальных сетей, оборудования, инвентаря и др.

Противопожарный режим включает:

- регламентирование порядка проведения временных огневых и других пожароопасных работ;
- оборудование специальных мест для курения или полный запрет курения;

- определение порядка обесточивания электрооборудования в случае пожара;
- установление порядка уборки горючих отходов, пыли, промасленной ветоши, специальной одежды в мастерских по ремонту и обслуживанию автомобильной и другой техники;
- определение мест и допустимого количества взрывопожароопасных веществ, единовременно находящихся в помещениях, на складах;
- установление порядка осмотра и закрытия помещений после окончания работы;
- определение действий персонала, работников при обнаружении пожара;
- установление порядка и сроков прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму;
- запрет на выполнение каких-либо работ без проведения соответствующего инструктажа.

Основными направлениями деятельности по обеспечению пожарной безопасности являются системы оповещения и управление эвакуацией.

Для предотвращения опасных воздействий пожара, для обеспечения организованного движения людей при эвакуации, выносе материальных ценностей в зданиях, помещениях, на этажах зданий предусматриваются эвакуационные пути и выходы. Для каждого этажа и здания в целом составляются планы эвакуации людей и материальных ценностей. Количество эвакуационных выходов из зданий, помещений и с каждого этажа принимается по расчету, но обычно их должно быть не менее двух.

При составлении плана эвакуации принимаются во внимание необходимое время эвакуации, категория производства и объем помещения. Требования к устройству путей эвакуации и эвакуационных выходов из зданий и помещений изложены в соответствующих санитарных нормах и правилах.



План эвакуации для учреждения в целом вывешивается в помещении ответственного дежурного по учреждению, а также у дежурных по этажам, зданиям, участкам.

Кроме планов эвакуации для учреждения в целом каждый кабинет, комната, цех и т.д. должны быть обеспечены планом эвакуации с памяткой о мерах пожарной безопасности и правилах поведения в условиях пожара.

Для объектов с ночным пребыванием людей (лечебные учреждения со стационаром, детские оздоровительные лагеря и т. п.) в инструкции должны предусматриваться два варианта действия: в дневное и ночное время.

Особые требования предъявляются к лечебным учреждениям со стационаром, школам-интернатам, домам ветеранов, инвалидов и т.д.

Здания больниц и других учреждений с постоянным пребыванием людей, не способных передвигаться самостоятельно, должны обеспечиваться носилками из расчета 1 носилки на 5 больных (инвалидов). Палаты для тяжелобольных и детей следует размещать на нижних этажах. Расстояние между кроватями в больничных палатах должно быть не менее 0,8 м, а центральный основной проход шириной не менее 1,2 м. Стулья, тумбочки и другая мебель не должны загромождать эвакуационные проходы и выходы.

В указанных организациях запрещается:

- размещать в корпусах с палатами для больных помещения, не связанные с лечебным процессом (кроме определенных нормативами проектирования);
- оклеивать деревянные стены и потолки обоями и окрашивать их нитро или масляными красками;
- применять для отделки помещений материалы, выделяющие при горении токсичные вещества;
- размещать в подвальных и цокольных этажах лечебных учреждений мастерские, склады, кладовые.

Администрация учреждений здравоохранения обязана не реже 2 раз в год проводить проверку состояния сгораемых конструкций.

Если поверхности материалов и сгораемых конструкций утратили огнезащитные свойства, об этом должен быть составлен акт и проведена повторная обработка.

Нарушения огнезащитных покрытий (штукатурки, специальных красок, лаков, обмазок и т. п.) строительных конструкций, горючих отделочных и теплоизоляционных материалов должны немедленно устраняться.

При эксплуатации эвакуационных путей и выходов запрещается:

- загромождать эвакуационные пути и выходы (в т. ч. проходы, коридоры, тамбуры, галереи, лифтовые холлы, лестничные площадки, марши лестниц, двери, эвакуационные люки) различными материалами, изделиями, оборудованием, производственными отходами, мусором и др. предметами, а также забивать двери эвакуационных выходов;

- устраивать в тамбурах выходов сушилки и вешалки для одежды, гардеробы, а также хранить (в т. ч. временно) инвентарь и материалы;

- устраивать на путях эвакуации пороги (за исключением порогов в дверных проемах), раздвижные и подъемно-опускные двери и ворота, вращающиеся двери и турникеты, а также другие устройства, препятствующие свободной эвакуации людей;

- применять горючие материалы для отделки, облицовки и окраски стен и потолков, а также ступеней и лестничных площадок на путях эвакуации (кроме зданий 5-й степени огнестойкости);

- фиксировать самозакрывающиеся двери лестничных клеток, коридоров, холлов и тамбуров в открытом положении (если для этих целей не используются автоматические устройства, срабатывающие при пожаре), а также снимать их.

## 2 Оперативно-тактическая характеристика объекта

### 2.1 Общие сведения об объекте

Муниципальное автономное образовательное учреждение «Средняя школа №1 имени И. П. Кытманова» расположена по адресу: Красноярский край, Енисейский район, г. Енисейск, ул. Ленина, 120 (Рисунок 1).

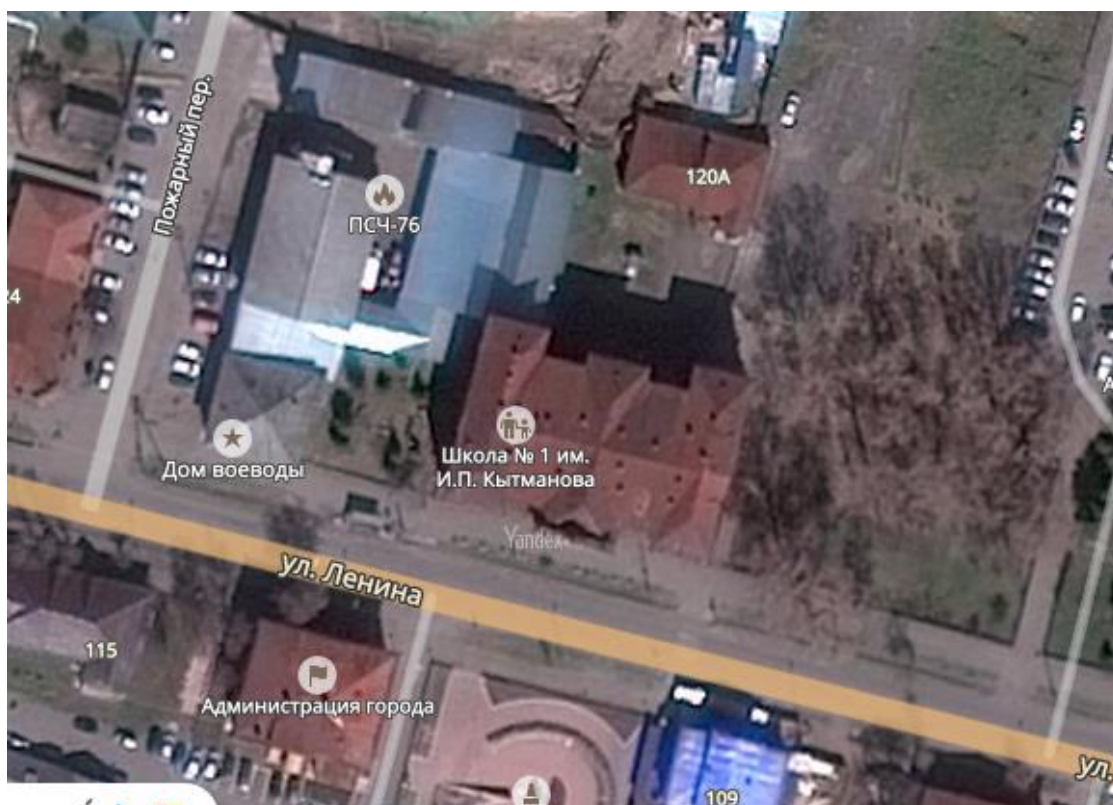


Рисунок 1 – Космический снимок МАОУ «Средняя школа №1 имени И. П. Кытманова»

Основными видами деятельности школы являются образовательная, творческая, культурно-просветительская и финансово-хозяйственная.

Режим работы МАОУ «Средняя школа №1 им. И. П. Кытманова»: с 8-00 до 18-00 (при работе дополнительного образования – до 20-00), выходной воскресенье. Количество персонала МАОУ «Средняя школа №1 им. И. П.

Кытманова» – 476 человек (включая учащихся, руководство, педагогических и обслуживающих работников). Количество детей, посещающих среднюю школу, составляет 410 человек. Возраст учащихся от 6,5 до 17 лет.

Подъезд к зданию школы осуществляется по улице Ленина через внутренний двор (Рисунок 2):

- с северной стороны располагается пожарная часть, (2-этажное здание, 5 степени огнестойкости);
- с северо-восточной стороны на расстоянии 20 м располагается музыкальная школа (1-этажное здание, 5 степени огнестойкости);
- с западной стороны на расстоянии 25 м находится магазин, (2-этажное здание, 5 степени огнестойкости);
- с южной стороны на расстоянии 34 м находится администрация г. Енисейска, (3-этажное здание, 3 степени огнестойкости);
- с юго-восточной стороны на расстоянии 30 м находится прокуратура г. Енисейска, (3-этажное здание, 3 степени огнестойкости);
- с восточной стороны на расстоянии 50 м находится районная администрация, (3-этажное здание, 3 степени огнестойкости).

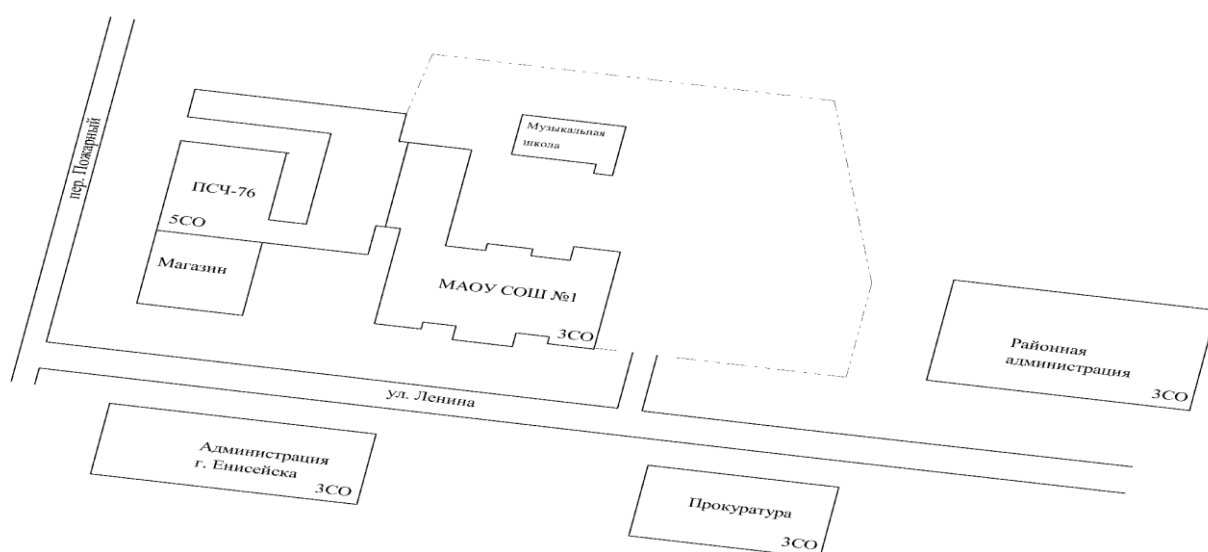


Рисунок 2 – План расположения объектов на местности

Расстояние до ближайшей пожарной части (ПСЧ-76) по автодорогам составляет 120 м.

На территории МАОУ «Средняя школа №1 им. И. П. Кытманова» расположены здание самой школы, гараж и музыкальная школа. Территория огорожена металлическим забором.

Аварийно-химически опасных, биологически опасных, радиоактивных веществ в деятельности учебного заведения не применяется.

Охрана МАОУ «Средняя школа №1 им. И. П. Кытманова» в ночное время и выходные дни осуществляется сторожем. Вызов сотрудников правоохранительных органов в случае посягательства на учеников и педагогов школы исполняется с телефона руководителя объекта. Время прибытия оперативной группы (сотрудники ОВД г. Енисейска) по тревоге составляет 10 минут.

## **2.2 Строительные конструкции и материалы объекта**

Здание Енисейской средней школы №1 трехэтажное с подвальным помещением, чердачное помещение отсутствует. Степень огнестойкости здания – 3, класс конструктивной пожарной опасности – С0. Класс функциональной пожарной опасности – Ф4.1. [26]

Пределы огнестойкости строительных конструкций:

- несущие элементы здания R 45;
- перекрытия междуэтажные (в т. ч. чердачные) – REI 45;
- внутренние стены лестничных клеток – REI 60;
- марши и площадки лестниц – R 45.

Технический паспорт здания соответствует фактическому плану школы.

Строительные конструкции и материалы объекта приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Строительные конструкции и материалы объекта

Размеры и форма	44 х 33 х 14 м, Г образной формы, трехэтажное с подвалом, кирпичное
Общая поэтажная площадь, м <sup>2</sup>	3440
Стены и перегородки	кирпичные
Полы	железобетонные
Перекрытие	железобетонные
Крыша	крытая металлом
Лестничные марши	железобетонные

На первом этаже имеется два эвакуационных выхода на улицу через основное здание, выходящие в северном и южном направлении, а также один через спортзал, выходящий во внутренний двор школы. Имеется подвальное помещение с двумя эвакуационными выходами, так же выходящие во внутренний двор школы с северной стороны. Вход в чердачное помещение через люк-лаз на 3-м этаже в центральной части здания по лестнице стремянке, по кровле через слуховые окна. Основной вход осуществляется с южной стороны здания. Дверные полотна открываются по направлению выхода.

### **2.3 Характеристика первичных средств пожаротушения и водоснабжение**

Здание Енисейской общеобразовательной средней школы №1 оснащено первичными средствами пожаротушения. Распределение первичных средств пожаротушения представлено в Таблице 2.

Таблица 2 – Распределение первичных средств пожаротушения

Подвал	Огнетушители порошковые ОП-4 – 5 шт.
1 Этаж	Огнетушители порошковые ОП-4 – 7 шт. Огнетушитель углекислотный ОУ-2 – 1 шт.
2 Этаж	Огнетушитель порошковый ОП-4 – 5 шт. Огнетушитель углекислотный ОУ-2 – 1 шт.
3 Этаж	Огнетушитель порошковый ОП-4 – 5 шт.
Всего	Огнетушитель порошковый ОП-4 – 22 шт. Огнетушитель углекислотный ОУ-2 – 2 шт.

Копии актов проверки огнетушителей присутствуют.

Наружное противопожарное водоснабжение обеспечивается:

- близлежащими водоемами, которые расположены на расстоянии 100 и 250 м от здания учебного корпуса, емкостью 100 и 50 м<sup>3</sup>, и установлены: первый на расстоянии 100 м через дорогу во дворе магазина «Дом одежды», второй 50 м<sup>3</sup> на расстоянии 250 м в западном направлении, у котельной за зданием Енисейгеофизика;

- от реки Енисей, протекающей с северной стороны школы на расстоянии 900 м.

## 2.4 Характеристика энергоснабжения и коммуникаций

Снабжение электроэнергией, силовое и осветительное оборудование для помещений и территории 220 и 380 В.

Щитовые расположены:

- на 1 и 2 этаже в коридоре у лестниц;
- на 3-м этаже в коридоре у кабинета №4;
- в подвальном помещении в коридоре у лестниц и в организаторской.

Обесточивание всего объекта производится общим рубильником в щитовой, расположенной в подвальном помещении у лестничной площадки, подключение основного и резервного питания произведена воздушным путем от подстанции 18-215 на расстоянии 120 м, расположенной по адресу пер. Пожарный 3А. От основного щита, электроэнергия напряжением 220 В

распределяется на электрощиты, которые расположены на каждом этаже здания. Энергоснабжение объекта осуществляется от трансформаторной подстанции КТПН 18 - 215, расположенной с восточной стороны по адресу пер. Пожарный 3А.

Телефоны обслуживающих организаций 8-39195- 2-25-25 (Енисейский участок)

Все работы по отключению, переключению электроэнергии производит дежурный электромонтер круглосуточно.

Отопление: центральное, водяное от центральной котельной расположенной по адресу ул. Ленина 160.

Вентиляция естественная, вытяжная, расположена на кухне, на 1-м этаже.

Связь городская - через АТС.

## **2.5 Система противопожарной защиты**

Все помещения здания школы оборудованы автоматической пожарной сигнализацией, на которой установлены пожарные извещатели «ИП212 – 45» - 94 шт., «ИП – 101-1А» - 7 шт., ручной извещатель «ИПР 3-СУ» - 9 шт. Сигнал выведен на приемно-контрольный прибор «Сигнал-20», размещенный на посту охраны, расположенном в фойе 1-го этажа. Звуковая сигнализация «Блюз», звуковые оповещатель «Маяк-12К», аккумулятор 12 А/Ч, аккумулятор 2,3 А/Ч; 7АЧ.

Коридоры здания оборудованы аварийным освещением, на путях эвакуации установлены световые указатели табло «Выход» - 16 шт.

Автоматические установки пожаротушения и дымоудаления в школе отсутствуют. Копии актов проверок установок автоматической противопожарной защиты имеются в наличии.



## 2.6 Анализ причин возникновения пожара

Основными потенциальными местами возникновения пожара в здании Енисейской общеобразовательной школы №1 являются кабинеты, пищеблок, учебные классы.

Основными причинами пожаров в помещениях школы являются:

- нарушения правил монтажа электрооборудования;
- короткое замыкание электросетей вследствие их перегрузки;
- нарушения противопожарного режима на объекте;
- последствия детской шалости с огнем.

Пожары, вызванные детской шалостью с огнем, могут быть внезапными и стремительными, это напрямую связано со свойствами веществ и материалов, которые дети могут использовать для поджога.

При пожарах в помещениях школы распространение огня будет ограниченным из-за небольшой горючей загрузки и наличия дверных полотен. Но выделяемые при этом продукты сгорания, быстро заполнят объем горящего помещения и будут распространяться по коридорам в соседние помещения. Линейная скорость распространения огня в таких случаях может достигать 1 м/мин.

При возникновении пожара на первом этаже возможно быстрое задымление всего здания, так как выходы на второй этаж напрямую сообщаются через лестничные клетки, при этом основные пути эвакуации со второго этажа будут отрезаны дымом.

Наличие систем обнаружения пожара (АУПС) и круглосуточное пребывание людей позволяет вовремя обнаружить пожар и сократить время его свободного распространения, что обеспечит успешные действия по тушению пожара.

## **2.7 Действия персонала школы при пожаре до прибытия подразделений пожарной охраны**

В случае возникновения пожара в МАОУ «Средняя школа №1 им. И. П. Кытманова» или его признаков (дыма, запаха горения или тления различных материалов и т.п.) руководитель, сотрудники и обслуживающий персонал обязаны:

- немедленно сообщить о пожаре по телефону в пожарную охрану (при этом нужно назвать адрес объекта, место возникновения пожара и сообщить свою фамилию);

- принять по возможности меры по эвакуации людей, тушению пожара и сохранности материальных ценностей;

Прибывшие к месту пожара обязаны:

- продублировать сообщение о возникновении пожара в пожарную охрану, четко назвать адрес учреждения, по возможности место возникновения пожара, что горит и чему пожар угрожает (в первую очередь, какова угроза для людей), а также сообщить свою должность и фамилию, номер телефона, а также сообщить о пожаре директору школы;

- принять немедленные меры по организации эвакуации детей и людей, начиная эвакуацию из помещения, где возник пожар, а также из помещений, которым угрожает опасность распространения огня и продуктов горения, используя для этого имеющиеся силы и средства;

- проверить включение в работу (или привести в действие) автоматических систем противопожарной защиты (оповещения людей о пожаре);

- при необходимости отключить электроснабжение (за исключением систем противопожарной защиты);

- удалить за пределы опасной зоны всех детей и работников;

- директор обязан осуществлять общее руководство по тушению пожара до прибытия подразделения пожарной охраны;

- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;
- одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей;
- организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к месту пожара.

По прибытии пожарного подразделения директор школы (или его заместитель) обязан четко проинформировать руководителя тушения пожара о том, все ли эвакуированы из горящего или задымленного здания и в каких помещениях еще остались люди; о конструктивных и технологических особенностях объекта, прилегающих строений и сооружений, а также организовать привлечение сил и средств объекта к осуществлению необходимых мероприятий, связанных с ликвидацией пожара и предупреждением его распространения.

### **3 Анализ здания, расчёт времени эвакуации и пожарных рисков**

#### **3.1 Анализ на соответствие требованиям пожарной безопасности**

При осмотре Енисейской общеобразовательной школы №1 выявлено, что ширина 35 горизонтальных участков путей эвакуации не соответствует СП 1.13130.2009. Фактическая ширина равна - 0,78 м, требуемая – не менее 0,8 м.

В Енисейской средней общеобразовательной школе установлена СОУЭ 2 типа, согласно СП 3.13130.2009 для трёхэтажных зданий средний общеобразовательных учреждений необходима установка СОУЭ 3 типа

Так же в подвале находятся четыре помещения склада, что противоречит Постановлению правительства №390 «О противопожарном режиме. [11, 18, 21]

В соответствии с ФЗ-123 пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной при выполнении одного из следующих условий:

- в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с ФЗ-123;
- в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом "О техническом регулировании", и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим ФЗ. [26]

#### **3.2 Расчёт времени эвакуации**

##### **3.2.1 Эвакуация из мест начального размещения людских потоков**

Решив эвакуироваться, человек намечает свой маршрут движения, т.е. ту последовательность участков пути, которую ему предстоит пройти для

того, чтобы попасть с места его нахождения в то место, куда он наметил себе прийти за кратчайшее время. При пожаре такими местами являются: помещение, в котором ему будет более безопасно, чем в том, где он находится в данный момент; зона пожарной безопасности, специально созданная в здании и на территории, окружающей школу. В любом случае, человек, выходит на начальный участок эвакуационного пути. Это может быть проход между партами или столами, свободное пространство около места нахождения человека, соединяющие его с выходами из помещения. Одновременно с ним на этот участок могут выходить и другие люди. Они выбирают направление движения к тому или иному выходу и тем самым определяют маршрут своего движения, т.е. последовательность участков эвакуационных путей, которые они должны пройти для того, чтобы попасть в безопасное место.

Поэтому, наметив свой маршрут движения, человек выходит на участок общего пути, по которому выбрали то же направление движения и другие люди, т.е. на этом участке формируется людской поток. Можно сказать, что эти участки являются источниками людских потоков.

Таковыми участками в помещениях являются проходы между элементами интерьера, мебелировки, оборудованием, орг. техникой и т.д. Пространство участков формирования людских потоков определяется антропометрическими размерами человека и эргономикой движений человека при осуществлении им основного функционального процесса, для реализации которого предназначено данное помещение.

Выйдя с участков формирования, людские потоки по магистральным (общим) проходам направляются к эвакуационным выходам из помещений. Покинув помещение, человек заканчивает первый этап эвакуации.

Выходя из помещений, люди приступают ко второму этапу эвакуации. Он может происходить по коридору, который из-за своей ширины ограничивает ширину потока, образующегося в нём из слияния людских потоков, выходящих из помещений. Выходя в коридор, человек опять

выбирает маршрут своего движения. Если коридор свободен и эвакуационные выходы из него не заблокированы, то человек, вероятнее всего, воспользуется привычным, ежедневно используемым им маршрутом через, как правило, ближайший эвакуационный выход.

Следует учесть тот факт, что плотность людского потока на одном и том же участке коридора может быть различна. Прежде всего, это связано с количеством человек находящихся на начальных участках формирования людских потоков, т.е. в помещениях (проходы между мебелью и т.д.) и их объемно-планировочными решениями.

Можно выделить две характерные ситуации:

В помещении перед дверным проёмом образуется скопление людей с максимальной плотностью. В таком случае, интенсивность движения в дверном проеме будет составлять 8,5 м/мин (и менее, в зависимости от ширины проема). Тогда плотность людского потока в коридоре не будет превышать, как правило, значений 0,05-0,2 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, что соответствует скоростям движения 100 – 40 м/мин.

В случае, если движение людей через дверной проём проходит беспрепятственно, то интенсивность движения в дверном проёме может достигать максимальных значений – 19,6 м/мин. В таком случае, плотность людского потока в коридоре будет находиться в диапазоне 0,2 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> – 0,5 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> в зависимости от ширины коридора. Скорость движения при этом упадет до 60 - 30 м/мин. [14]

### **3.2.2 Формулировка математической модели и моделирование эвакуации людей из здания при пожаре**

Безопасная эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре считается обеспеченной, если интервал времени от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации людей при пожаре. [26]

Федеральный закон №123 требует организации безопасной (своевременной и беспрепятственной) эвакуации людей из здания. [26]

Под своевременностью понимается необходимость покинуть здание при пожаре до достижения в помещениях и на путях эвакуации предельно допустимых уровней воздействия на людей опасных факторов пожара, определяемое динамикой их распространения при различных вариантах функционирования систем защиты.

С учетом вышеизложенного, можно сформулировать условие безопасности по первому предельному состоянию (по своевременности):

$$t_{эв} < t_{бл}, \quad (1)$$

где  $t_{эв}$  – значение времени эвакуации последнего из людей в здании;

$t_{нэ}$  – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин;

$t_p$  – расчетное время эвакуации людей, мин;

$t_{бл}$  – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин.

Беспрепятственность достигается отсутствием на путях эвакуации скоплений людей с высокой плотностью  $D_{max}$ , что позволяет сформулировать условие безопасности по второму предельному состоянию (по беспрепятственности эвакуации):

$$D_i < D_{max} \quad (2)$$

Максимальные плотности на участках движения возникают в случае, если величина подходящего людского потока больше пропускной способности участка. Это означает, что к границе участка в единицу времени подходит больше людей, чем он может пропустить за это же время.

Естественно, часть людей задерживается на участке  $i$  перед границей с участком  $i+1$ , образуется скопление людей, в котором плотность потока в чрезвычайной ситуации достигает максимальных значений. Образование скоплений людей является основным признаком нарушения беспрепятственности движения. В чрезвычайной ситуации воздействие людей друг на друга в скоплении и на ограждающие конструкции эвакуационных путей достигает уровней давления, способных к компрессионной асфиксии организма человека со смертельным исходом.

Расчетное время эвакуации людей из здания школы определяется по математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания школы с использованием программного продукта «Urban».

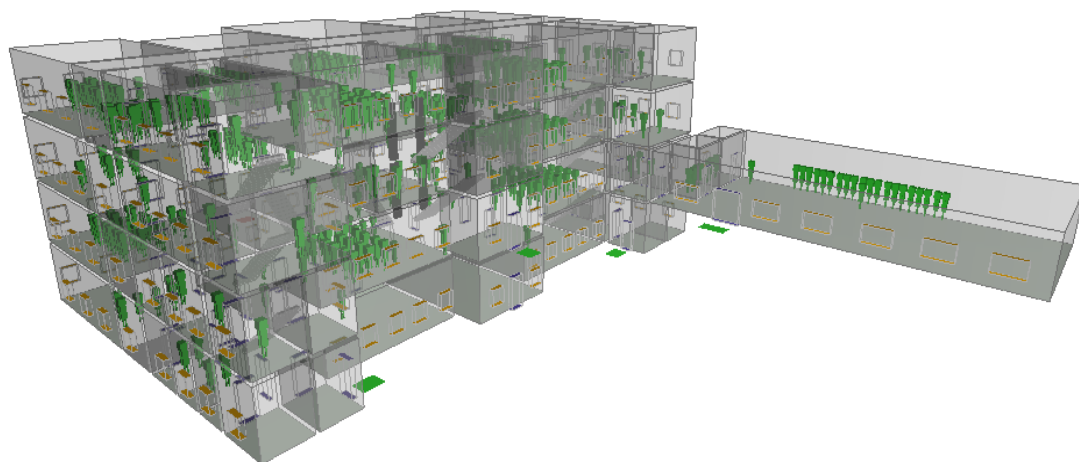


Рисунок 3 - 3D модель здания в программе «Urban»

Расчетное время эвакуации людей из здания устанавливается по времени выхода из него последнего человека.

Перед началом моделирования процесса эвакуации задается схема эвакуационных путей в здании. Все эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной  $a$  и шириной  $b$ . Длина и ширина каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимаются по проекту,



а для построенных - по фактическому положению. Длина пути по лестничным маршам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз, лестница вверх и пандус).

За габариты человека в плане принимается эллипс с размерами осей 0,5 м (ширина человека в плечах) и 0,25 м (толщина человека). Задаются координаты каждого человека  $x^i$  - расстояние от центра эллипса до конца эвакуационного участка, на котором он находится (рис. 4).

Координаты каждого человека  $x^i$  в начальный момент времени задаются в соответствии со схемой расстановки людей в помещениях.

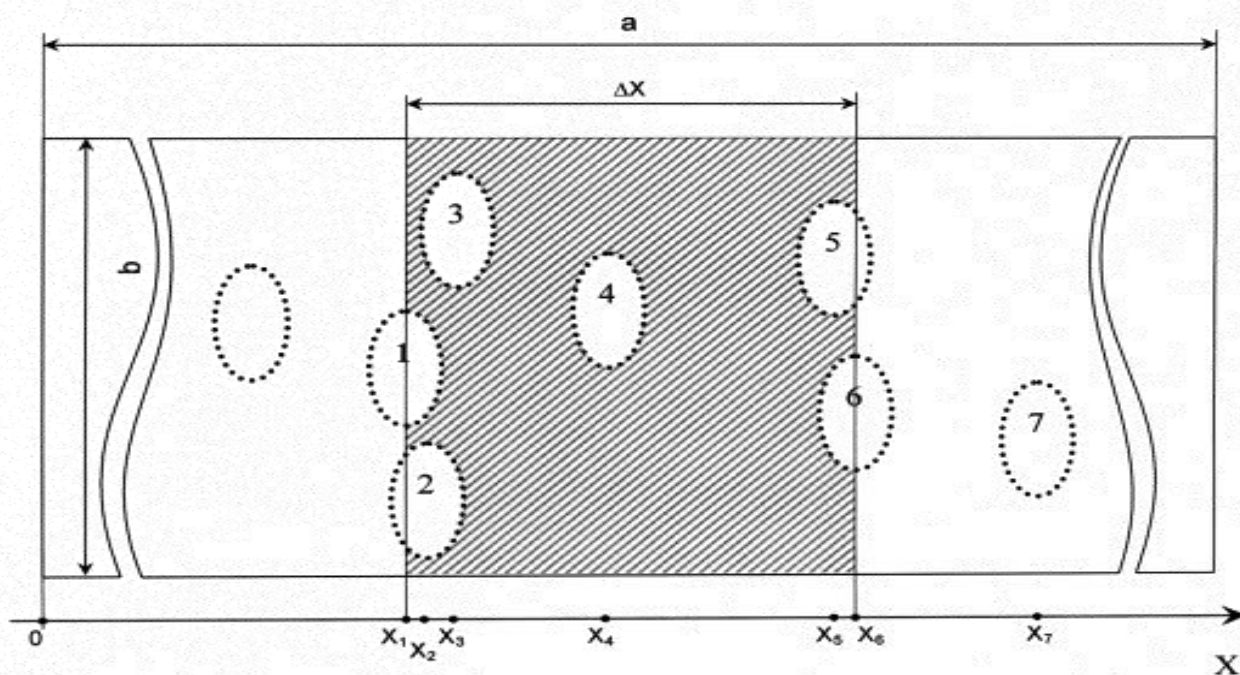


Рисунок 4 - Координатная схема размещения людей на путях эвакуации

На рис. 5 изображена блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания.

На основании заданных начальных условий (начальных координат людей, параметров эвакуационных участков) определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов с

эвакуационных участков. Далее, в определенный момент времени определяется наличие ОФП на путях эвакуации. В зависимости от этого выбирается направление движения каждого человека и вычисляется новая координата каждого человека. После этого снова определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов. Затем вновь дается приращение по времени и определяются новые координаты людей с учетом наличия ОФП на путях эвакуации в этот момент времени. После этого процесс повторяется. Расчеты проводятся до тех пор, пока все люди не будут эвакуированы из здания. [10]

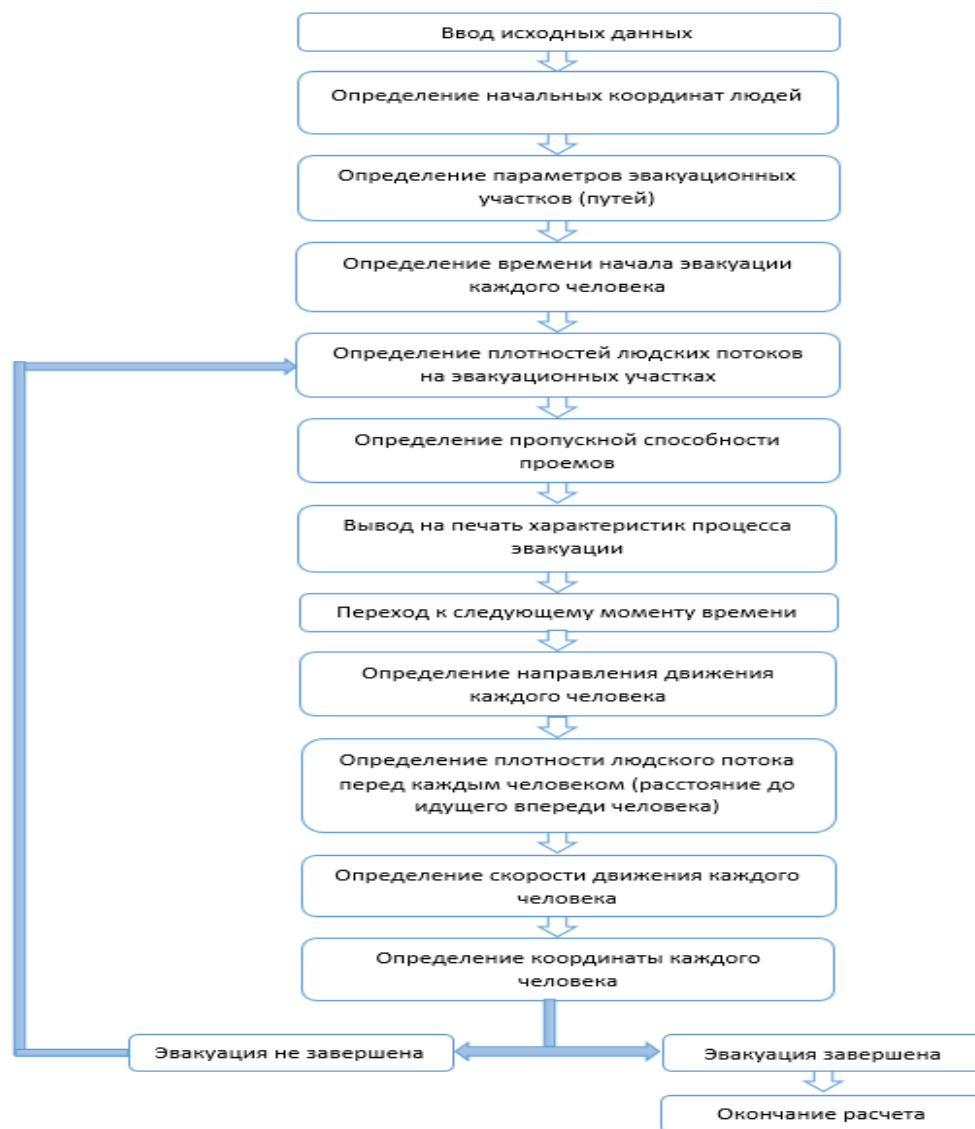


Рисунок 5 - Блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания

### 3.2.3 Расчетные схемы и определение расчетного времени эвакуации людей из здания

В соответствии с объемно-планировочными решениями здания, геометрическими размерами эвакуационных путей и выходов были составлены расчетные схемы эвакуации с этажей здания, которые представлены на рис. 6-9.



Рисунок 6 - Расчетная схема эвакуации

Количество выходов на этаже: 4

Количество человек на этаже: 25

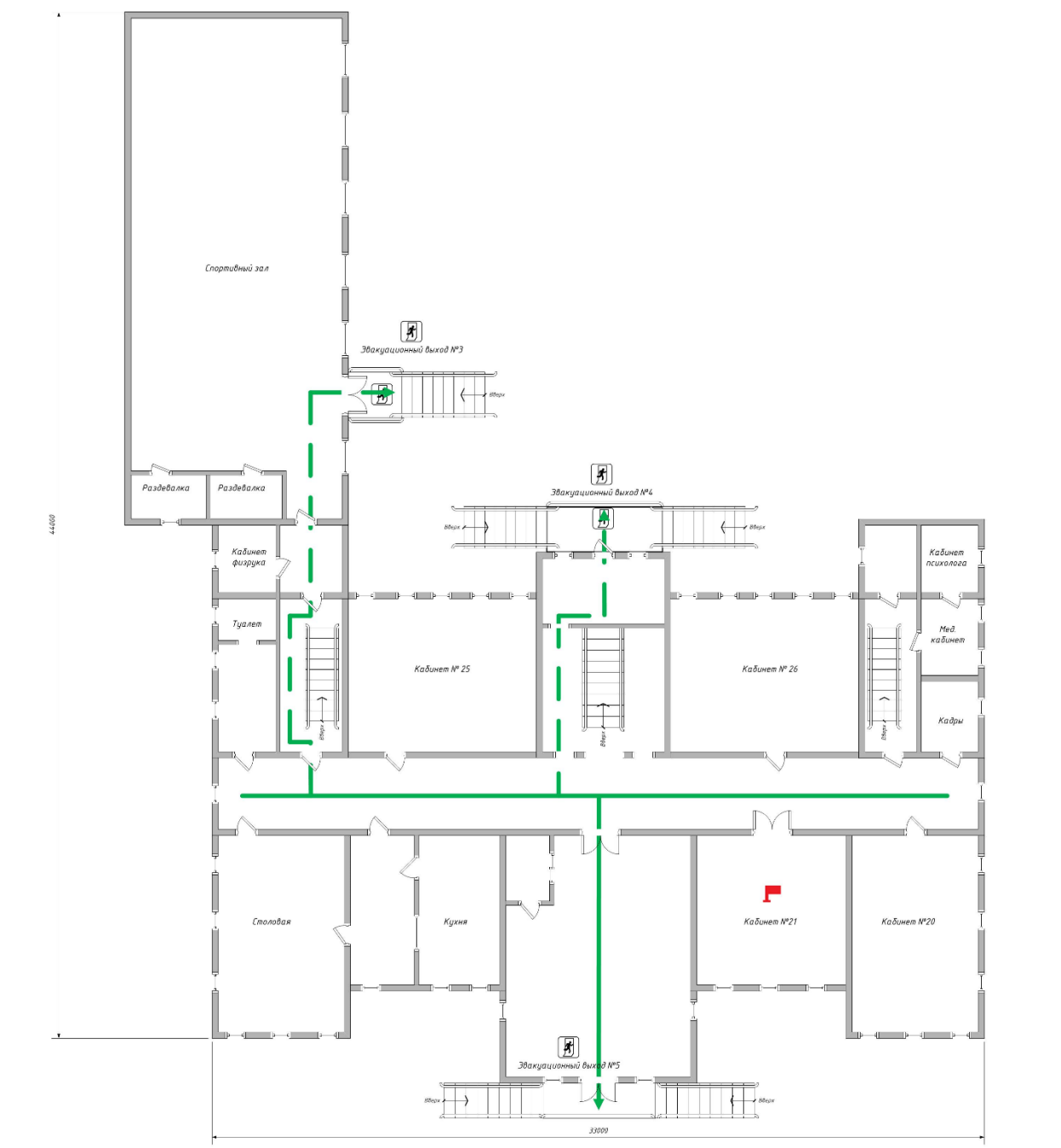


Рисунок 7 - Расчетная схема эвакуации

Количество выходов на этаже: 5

Количество человек на этаже: 169

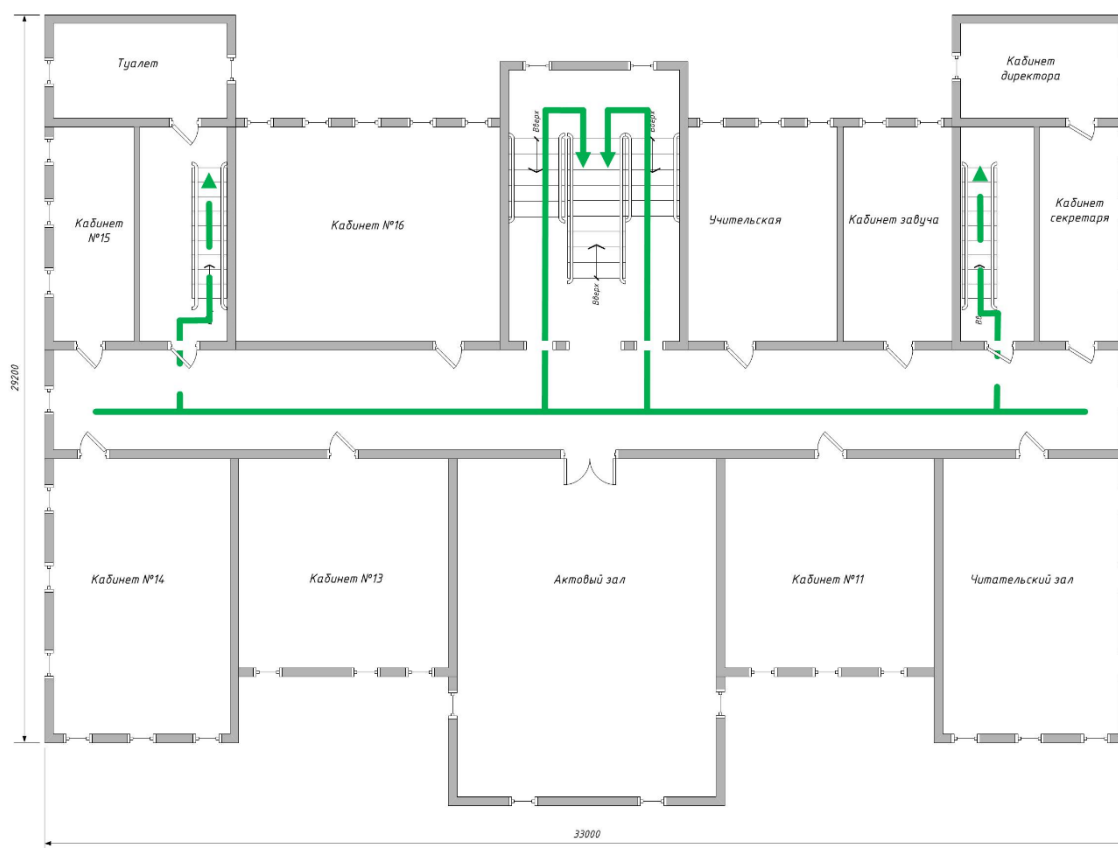


Рисунок 8 - Расчетная схема эвакуации

Количество выходов на этаже: 2

Количество человек на этаже: 103

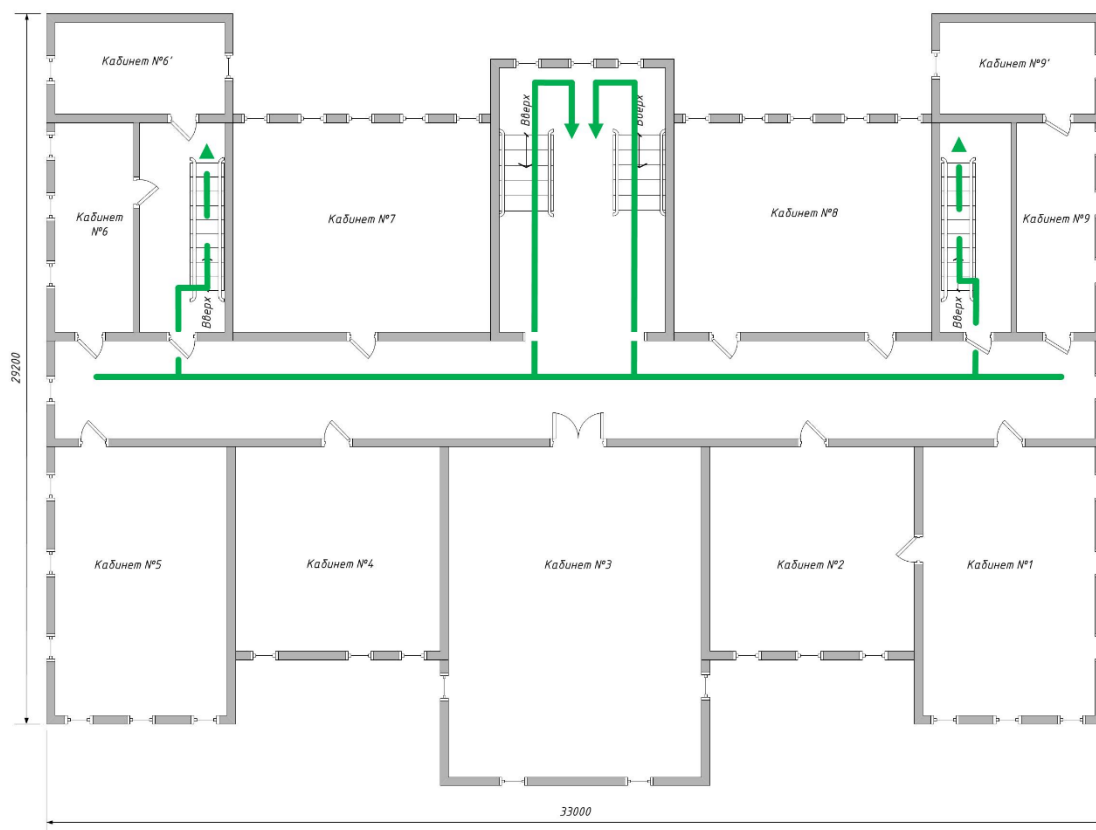


Рисунок 9 - Расчетная схема эвакуации

Количество выходов на этаже: 2

Количество человек на этаже: 170

Таблица 3 - Значения времени движения людей к эвакуационным выходам.

Сценарий	Выход 3	Выход 4	Выход 5	Выход 1	Выход 2
Сценарий 1	293 с (57 чел.)	350 с. (83 чел.)	350 с. (16 чел.)	383 с. (179 чел.)	363 с. (132 чел.)

Для удобства сопоставления данных, результаты определения расчетного времени эвакуации и времени блокирования эвакуационных путей (с учетом коэффициента безопасности) приведены в таблице 4.

### 3.2.4 Расчет вероятности эвакуации людей

Вероятность эвакуации  $P_{э}$  из здания Енисейской общеобразовательной школы №1 рассчитываем по формуле:

$$P_{э,i} = \begin{cases} 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{бл} - t_p}{t_{нэ}}, & \text{если } t_p < 0,8 \cdot t_{бл} < t_p + t_{нэ} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{нэ} \leq 0,8 \cdot t_{бл} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8 \cdot t_{бл} \text{ или } t_{ск} > 6 \text{ мин} \end{cases}, (3)$$

где  $t_p$  – расчетное время эвакуации людей, мин;

$t_{нэ}$  – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин;

$t_{бл}$  – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин;

$t_{ск}$  – время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение  $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ).

Таблица 4 - Время блокирования эвакуационных путей и расчетное время эвакуации людей из помещений здания

Выход	Время блокирования путей эвакуации ( $0,8 \cdot t_{бл}$ ), с	Время начала эвакуации $t_{нэ}$ , с	Расчетное время эвакуации ( $t_p + t_{нэ}$ ), с	Вывод
5	309	180	350	Опасно
1	>600	180	383	Безопасно
2	>600	180	363	Безопасно
3	>600	180	293	Безопасно
4	>600	180	350	Безопасно

Приведенные в таблице 4 результаты показывают, что своевременность и беспрепятственность эвакуации не обеспечивается ( $t_{эв} > t_{бл}$ ) при соблюдении обязательных требований пожарной безопасности, установленных ФЗ-123 и ФЗ-382 в части объемно-планировочных, конструктивных, инженерных и организационно-технических решений

системы обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого объекта защиты. [26, 14]

Учитывая вышеизложенное можно сделать вывод, что вероятность эвакуации составит  $P_{\text{э}} = 0$ .

### **3.3 Моделирование пожара**

#### **3.3.1. Выбор сценария пожара**

В соответствии с Методикой определения расчетных величин индивидуального пожарного риска при расчете рассматриваются сценарии пожара, при которых реализуются наихудшие условия для обеспечения безопасности людей. В качестве сценариев с наихудшими условиями пожара рассматриваются расчетные ситуации, характеризуемые наиболее затрудненными условиями эвакуации людей и (или) наиболее высокой динамикой нарастания ОФП. [9]

Проведя предварительный анализ объемно-планировочных решений объекта защиты, взаимного месторасположения помещений и выходов из них, принимая во внимание предварительные расчетные оценки по различным сценариям, были выделены следующие наихудшие расчетные ситуации:

Наиболее пожароопасным кабинетом в школе является кабинет информатики (8 компьютеров). За наихудший вариант принимаем возникновение пожара от короткого замыкания электропроводки компьютера учебного класса (размерами 6 м х 8 м) на первом этаже. Первоначально горение распространяется по угловой форме ( $180^0$ ), а затем при достижении стен, ограждающих данное помещение от других, примет прямоугольную форму.

Для расчета времени блокирования путей эвакуации, исходя из справочных данных были выбраны следующие значения горючей нагрузки:



Таблица 5 - Горючая нагрузка для "Сценарий 1"

Параметр	Ед. изм.	Значение
Расположение		Кабинет информатики
Площадь	м <sup>2</sup>	0.90
Типовая горючая нагрузка		Здания III-IV ст. огнест.; мебель+бытовые изделия
$h$ — Коэффициент полноты горения		0.97
$Q$ — Низшая теплота сгорания	МДж/кг	13800
$v$ — Линейная скорость распространения пламени	м/с	0.0465
$LO_2$ — Удельный расход кислорода	кг/кг	1.03
$D_m$ — Дымообразующая способность горящего материала	Нп·м <sup>2</sup> /кг	270
Макс. выход CO <sub>2</sub>	кг/кг	0.2
Макс. выход CO	кг/кг	0.002
Макс. выход HCl	кг/кг	0.014

### 3.3.2 Формулировка математической модели и моделирование динамики развития пожара

В соответствии с Методикой определения расчетных величин индивидуального пожарного риска необходимое время эвакуации рассчитывается как произведение критической для человека продолжительности пожара на коэффициент безопасности. Предполагается, что каждый опасный фактор воздействует на человека независимо от других. [9]

Критическая продолжительность пожара для людей, находящихся на этаже очага пожара, определяется из условия достижения одним из опасных факторов пожара (ОФП) в поэтажном коридоре своего предельно допустимого значения. В качестве критерия опасности для людей, находящихся выше очага пожара, рассматривается условие достижения одним из ОФП предельно допустимого значения в лестничной клетке на уровне этажа пожара.

Моделирование распространения опасных факторов пожара по помещениям здания при пожаре выполняется по полевой модели с использованием программного продукта «Urban» на основе FDS (Fire Dynamic Simulator).

Для прогнозирования динамики пожара в здании использована полевая (дифференциальная) модель FDS (Fire Dynamic Simulator), разработанная ведущей научно-исследовательской организацией США – Национальным институтом стандартов и технологии (НИСТ, NIST).

Полное математическое описание модели, в частности турбулентный конвективный и лучистый тепломассообмен в очаге горения с химическими реакциями, теплообмен между горячими газами и ограждающими конструкциями, тепломассообмен с окружающей средой через проемы и т.п., приведено в технической документации. Распространение ОФП представлены на рисунках 10, 11.

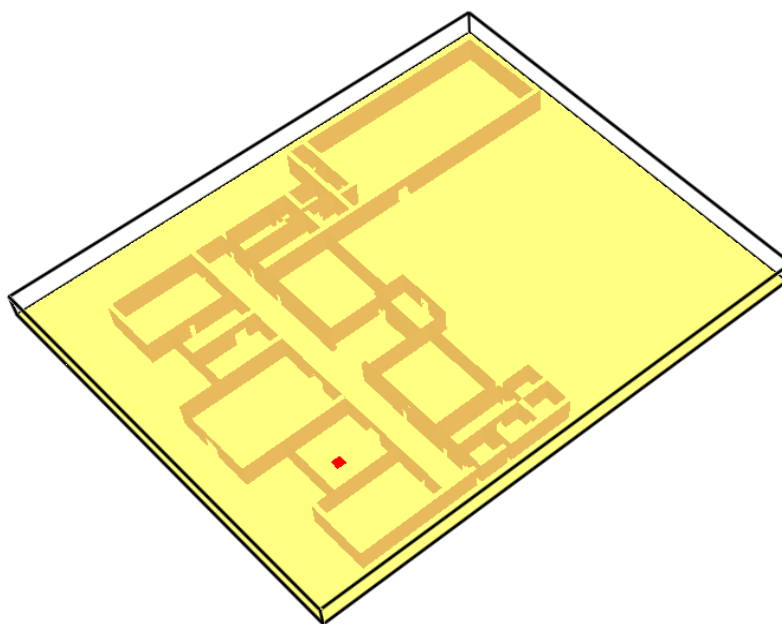


Рисунок 10 - Начало возгорания

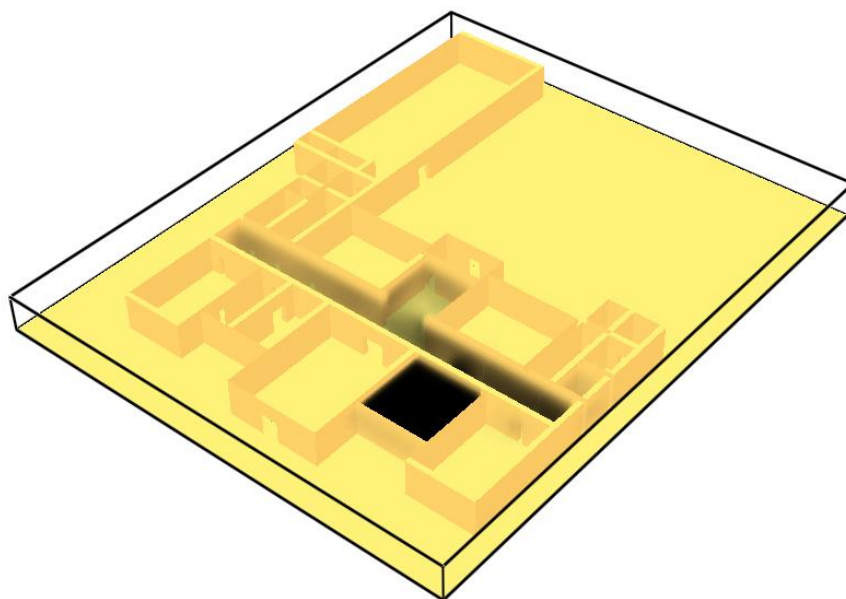


Рисунок 11 - Распространение ОФП через 180 секунд после возгорания на момент начала эвакуации

### **3.3.3 Определение времени блокирования путей эвакуации по рассмотренным сценариям**

На рисунке 12 изображена расчетная схема первого этажа здания с местами размещения очагов пожара в помещениях, расчетными точками измерения ОФП.



Рисунок 12 - Очаг пожара по "Сценарий 1" и схема размещения контрольных точек измерения ОФП

На рисунках 13–33 представлены графики критической продолжительности пожара по каждому из газообразных продуктов горения в расчетных точках измерения ОФП.



Рисунок 13 - Критическая продолжительность пожара по повышенной температуре для "Регистратор 5" в "Сценарий 1"

**Критическая продолжительность пожара по пониженному содержанию кислорода**



Рисунок 14 - Критическая продолжительность пожара по пониженному содержанию кислорода для "Регистратор 5" в "Сценарий 1"

**Критическая продолжительность пожара по CO2**

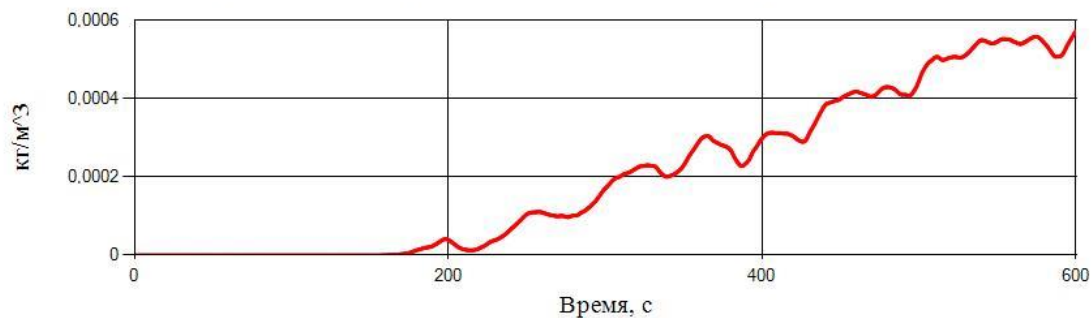


Рисунок 15 - Критическая продолжительность пожара по CO2 для "Регистратор 5" в "Сценарий 1"

**Критическая продолжительность пожара по CO**

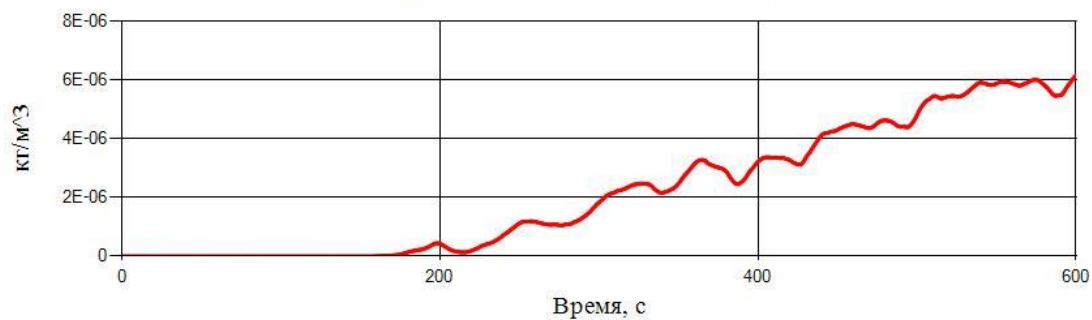


Рисунок 16 - Критическая продолжительность пожара по CO для "Регистратор 5" в "Сценарий 1"



Рисунок 17 - Критическая продолжительность пожара по HCL для "Регистратор 5" в "Сценарий 1"

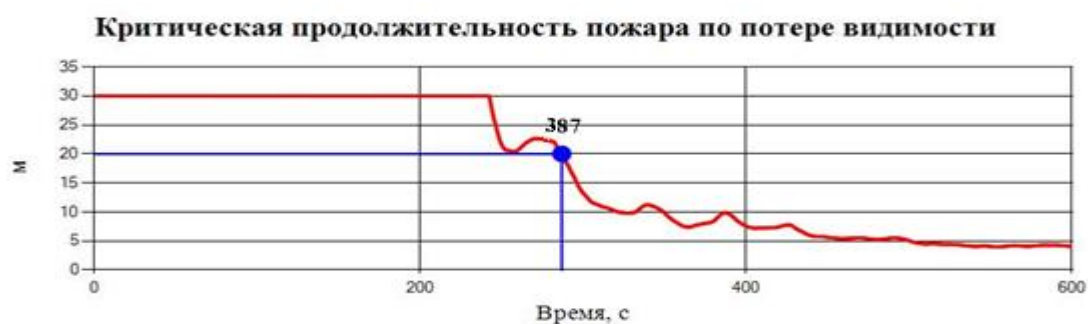


Рисунок 18 - Критическая продолжительность пожара по потере видимости для "Регистратор 5" в "Сценарий 1"



Рисунок 19 - Критическая продолжительность пожара по тепловому потоку для "Регистратор 5" в "Сценарий 1"

### Критическая продолжительность пожара по повышенной температуре

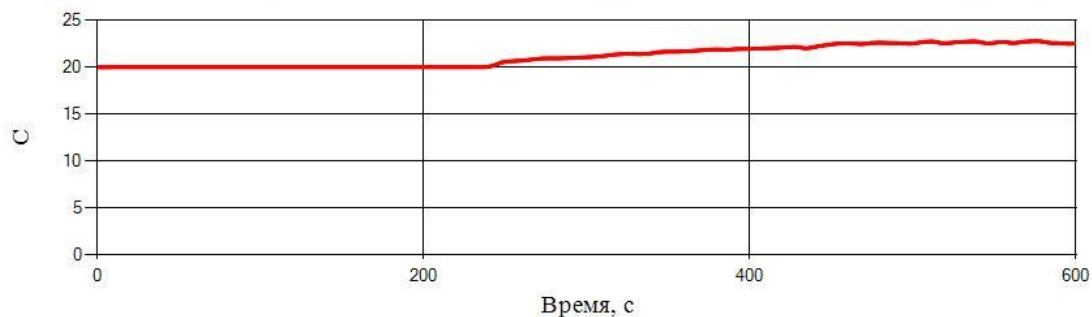


Рисунок 20 - Критическая продолжительность пожара по повышенной температуре для "Регистратор 3" в "Сценарий 1"

### Критическая продолжительность пожара по пониженному содержанию кислорода



Рисунок 21 - Критическая продолжительность пожара по пониженному содержанию кислорода для "Регистратор 3" в "Сценарий 1"

### Критическая продолжительность пожара по CO2

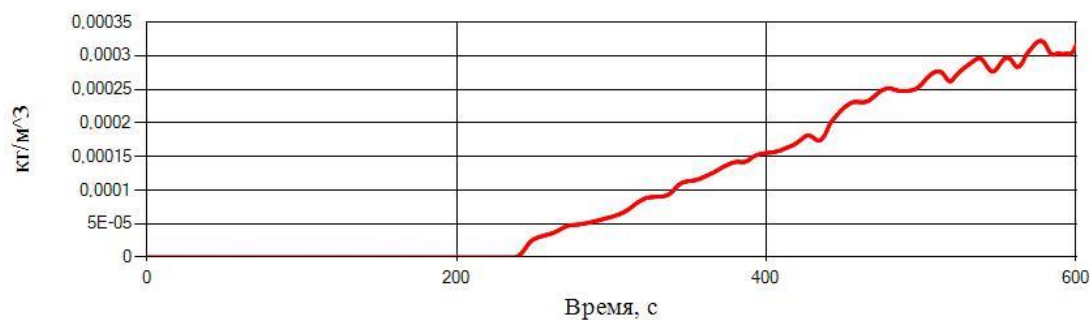


Рисунок 22 - Критическая продолжительность пожара по CO2 для "Регистратор 3" в "Сценарий 1"



Рисунок 23 - Критическая продолжительность пожара по СО для "Регистратор 3" в "Сценарий 1"



Рисунок 24 - Критическая продолжительность пожара по HCL для "Регистратор 3" в "Сценарий 1"



Рисунок 25 - Критическая продолжительность пожара по потере видимости для "Регистратор 3" в "Сценарий 1"





Рисунок 26 - Критическая продолжительность пожара по тепловому потоку  
для "Регистратор 3" в "Сценарий 1"



Рисунок 27 - Критическая продолжительность пожара по повышенной  
температуре для "Регистратор 4" в "Сценарий 1"



Рисунок 28 - Критическая продолжительность пожара по пониженному  
содержанию кислорода для "Регистратор 4" в "Сценарий 1"



Рисунок 29 - Критическая продолжительность пожара по CO<sub>2</sub> для "Регистратор 4" в "Сценарий 1"



Рисунок 30 - Критическая продолжительность пожара по CO для "Регистратор 4" в "Сценарий 1"

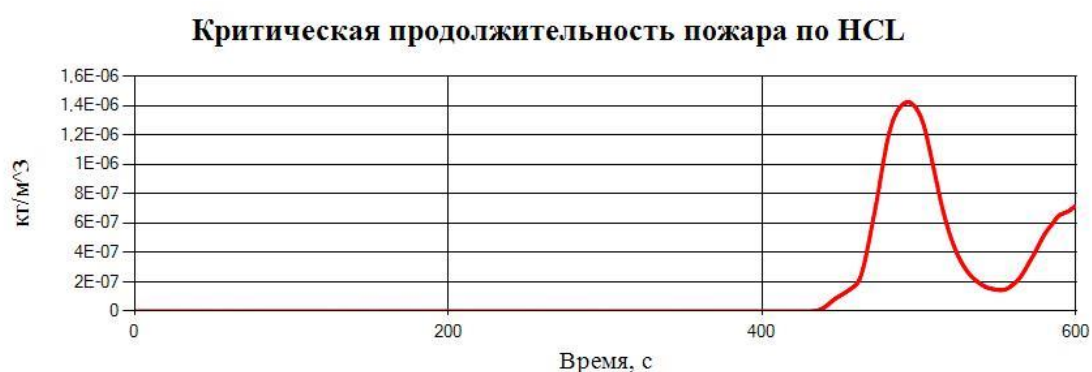


Рисунок 31 - Критическая продолжительность пожара по HCL для "Регистратор 4" в "Сценарий 1"



Рисунок 32 - Критическая продолжительность пожара по потере видимости  
для "Регистратор 4" в "Сценарий 1"



Рисунок 33 - Критическая продолжительность пожара по тепловому потоку  
для "Регистратор 4" в "Сценарий 1"

Таблица 6 - Результаты расчета времени блокирования ОФП эвакуационных выходов по "Сценарий 1"

Расчетная точка	Темп.	Потеря видим.	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	HCL	тепл. поток	время блок.
Регистратор 3	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600
Регистратор 4	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600
Регистратор 5	> 600	387	> 600	> 600	> 600	533	> 600	387

### 3.3.4 Расчет величины индивидуального пожарного риска для рассматриваемого объекта защиты

В соответствии с положениями методики определения расчетных величин индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности численным выражением индивидуального пожарного риска является частота воздействия опасных факторов пожара на человека, находящегося в здании. Частота воздействия ОФП определяется для пожароопасной ситуации, которая характеризуется наибольшей опасностью для жизни и здоровья людей, находящихся в здании. [9]

Индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если

$$Q_B \leq Q_B^H \quad (4),$$

где  $Q_B^H$  – нормативное значение индивидуального пожарного риска;

$Q_B$  – расчетная величина индивидуального пожарного риска.

$Q_{\Pi}$  – частота возникновения пожара в здании в течение года, определяется на основании статистических данных. В общеобразовательных учреждениях  $Q_{\Pi} = 1,6 \cdot 10^{-2}$ . [14]

$K_{\text{ап}}$  – коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения требованиям нормативных документов по пожарной безопасности. Значение параметра  $K_{\text{ап},i}$  принимается равным  $K_{\text{ап},i} = 0,9$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- здание оборудовано системой АУП, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
- оборудование здания системой АУП не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях  $K_{\text{ап},i}$  принимается равной нулю.

$P_{\text{пр}}$  – вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения формулы 5.;

Продолжительность пребывания людей в помещениях здания принимается из расчета не более 8 часов в сутки:

$$P_{\text{пр}} = t_{\text{функц}}/24, \quad (5)$$

где  $t_{\text{функц}}$  – время нахождения людей в здании в часах

$P_{\text{п.з}}$  – вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре.

Вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты  $P_{\text{п.з}}$ , направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей, рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{п.з}} = 1 - (1 - K_{\text{обн}} \cdot K_{\text{соуэ}}) \cdot (1 - K_{\text{обн}} \cdot K_{\text{пдз}}), \quad (6)$$

где  $K_{\text{обн}}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{\text{соуэ}}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{\text{пдз}}$  – коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Значение параметра  $K_{\text{обн},i}$  принимается равным  $K_{\text{обн},i} = 0,8$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- здание оборудовано системой пожарной сигнализации, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

- оборудование здания системой пожарной сигнализации не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях  $K_{обн,i}$  принимается равной нулю.

Значение параметра  $K_{соуэ,i}$  принимается равным  $K_{соуэ,i} = 0,8$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- здание оборудовано системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

- оборудование здания системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях  $K_{соуэ,i}$  принимается равной нулю.

Значение параметра  $K_{пдз,i}$  принимается равным  $K_{пдз,i} = 0,8$ , если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- здание оборудовано системой противодымной защиты, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

- оборудование здания системой противодымной защиты не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях  $K_{пдз,i}$  принимается равной нулю.

$K_{пз} = 0,8704000000$

Определяем величину ( $Q_B$ ) по формуле 7:

$$Q_B = Q_n \cdot (1 - K_{ап}) \cdot P_{пр} \cdot (1 - P_э) \cdot (1 - K_{п.з}) \quad (7)$$

Проведенными расчетами установлено, что максимальное значение пожарного риска на объекте составляет  $Q_B = 6,4 \cdot 10^{-5}$

### **3.3.5 Общие выводы по результатам расчетов**

В соответствии с ФЗ-123 расчетом оценивался риск гибели людей в случае возникновения пожара на объекте: Муниципальное автономное образовательное учреждение средняя образовательная школа №1, расположенный по адресу: ул. Ленина 120. [26]

В работе рассмотрены наиболее опасные сценарии развития пожара, исходя из количества эвакуирующихся людей, мест их размещения, удаленности от эвакуационных выходов, характера и объема пожарной нагрузки, а также мест её размещения. В расчетных схемах учитывались пути движения людей, которые отвечают требованиям [9]

Проведенные расчеты показали, что существующие объемно-планировочные, конструктивные, инженерные и организационно-технические решения системы обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого объекта защиты не обеспечивают безопасную эвакуацию людей.

С учетом вышеизложенного, основываясь на результатах проведенных расчетов и обработке полученных данных, можно заключить, что расчетная величина пожарного риска превышает допустимое значение. [26]

### **3.4 Мероприятия для снижения пожарного риска**

Исходя из вышесказанного необходимо сократить время эвакуации.

Имеется два варианта. Либо улучшить увеличить дверной проём, либо установить СОУЭ до 3 типа.

Исходя из экономической эффективности, оптимальным вариантом будет установка СОУЭ 3 типа.

Так как в здании Енисейской общеобразовательной школы №1 уже стоит СОУЭ 2 типа, предлагаю установить речевую систему оповещения. Тогда время начала эвакуации уменьшится на 90 секунд. [14]

Предлагаю установить прибор управление оповещением «Рокот-2» и акустическую систему «АС-2-2». При выборе акустической системы основным критерием является уровень звукового давление. Среднее значение шума в школе равно 60-70 дБ, а создаваемое звуковое давление «АС-2-2» равно 84 дБ. Следовательно, данная акустическая система подходит для установки в здании школы. В таблицах 7 и 8 указаны технические характеристики систем.

Таблица 7 - Технические характеристики «Рокот-2»

Характеристика	Значение характеристики
Напряжение питания сети переменного тока, 50 Гц, В	от 187 до 242
Мощность, потребляемая от сети переменного тока, в дежурном режиме, Вт	Не более 25
Номинальная ёмкость аккумуляторной батареи, Ач	7
Диапазон рабочих температур, °С	-10, +50
Габаритные размеры, мм	285x210x95

Таблица 8 - Технические характеристики «АС-2-2»

Характеристика	Значение характеристики
Номинальное входное сопротивление, Ом	42
Уровень звукового давления на расстоянии 3 м, дБ	84
Габаритные размеры, мм	140x200x67
Диапазон рабочих температур, °С	-30, +55
Срок службы, лет	не менее 10

### **3.5 Расчет величины индивидуального пожарного риска для рассматриваемого объекта защиты при СОУЭ 3 типа**

В соответствии с Методикой определения расчетных величин индивидуального пожарного риска численным выражением индивидуального пожарного риска является частота воздействия опасных факторов на человека, находящегося в здании. Частота воздействия ОФП определяется для пожароопасной ситуации, которая характеризуется наибольшей опасностью для жизни и здоровья людей, находящихся в здании. На рисунках 35 показано распространение ОФП во время начала эвакуации, в



таблицах 9 и 10 представлены время эвакуации и блокирования эвакуационных выходов. [9]

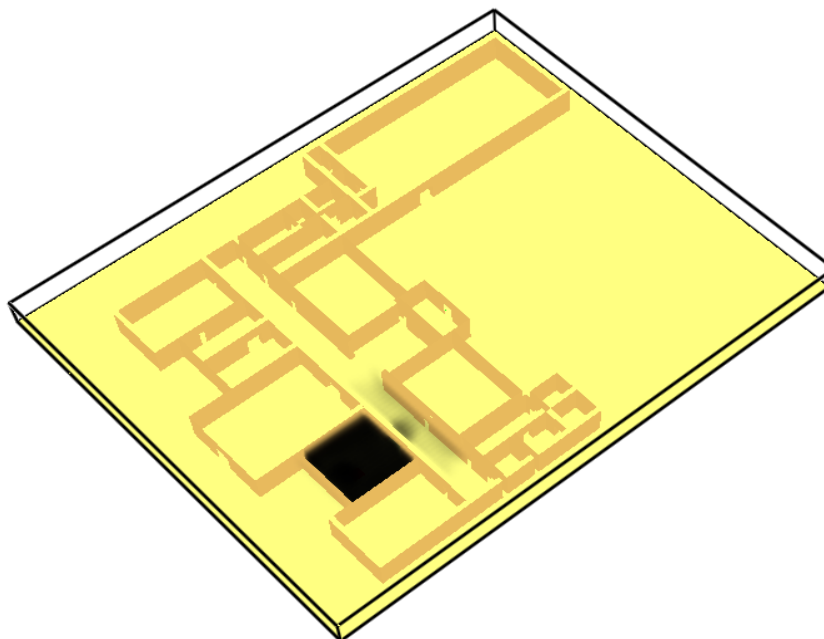


Рисунок 35. Распространение ОФП через 90 секунд после возгорания на момент начала эвакуации

Рассчитываем время эвакуации с помощью программы «Urban»:

Таблица 9 - Время эвакуации при «Сценарий 2»

Сценарий	Выход 3	Выход 4	Выход 5	Выход 1	Выход 2
Сценарий 2	203 с (57 чел.)	260 с (83 чел.)	260 с. (16 чел.)	293 с (179 чел.)	273 с (132 чел.)

Таблица 10 - Время блокирования эвакуационных путей и расчетное время эвакуации людей из помещений здания

Сценарий	Выход. (расчетная точка)	Время блокирования путей эвакуации ( $0.8 \cdot t_{бл}$ ), с	Время начала эвакуации $t_{нэ}$ , с	Расчетное время эвакуации ( $t_p + t_{нэ}$ ), с	Вывод
Сценарий 2	Выход 5	309	90	260	Безопасно
	Выход 1	>600	90	293	Безопасно
	Выход 2	>600	90	273	Безопасно
	Выход 3	>600	90	203	Безопасно
	Выход 4	>600	90	260	Безопасно

Теперь, согласно формуле 3, вероятность эвакуации людей из здания составляет:  $P_3 = 0.999$

Рассчитываем пожарный риск:

$$Q_v = Q_n \cdot (1 - K_{ап}) \cdot P_{пр} \cdot (1 - P_3) \cdot (1 - K_{п.з}) \quad (8)$$

Проведенными расчетами установлено, что максимальное значение пожарного риска на объекте составляет:  $Q_v = 6,4 \cdot 10^{-8}$ .

### **3.6. Общие выводы по результатам расчетов**

В соответствие с ФЗ-123 расчетом оценивался риск гибели людей в случае возникновения пожара на объекте: Муниципальное автономное образовательное учреждение средняя образовательная школа №1, расположенный по адресу: ул. Ленина 120. [26]

В работе рассмотрены наиболее опасные сценарии развития пожара, исходя из количества эвакуирующихся людей, мест их размещения, удаленности от эвакуационных выходов, характера и объема пожарной нагрузки, а также мест её размещения. В расчетных схемах учитывались пути движения людей, которые отвечают требованиям [9]

Проведенные расчеты показали, что существующие объемно-планировочные, конструктивные, инженерные и организационно-технические решения системы обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого объекта защиты не обеспечивают безопасную эвакуацию людей.

С учетом вышеизложенного, основываясь на результатах проведенных расчетов и обработке полученных данных, можно заключить, что расчетная величина пожарного риска не превышает допустимое значение. [26];

## **4 Безопасность и экологичность**

### **4.1 Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов**

Здание МАОУ СОШ №1 «имени И. П. Кытманова» находится в г. Енисейске. Основными видами деятельности школы являются образовательная, творческая, культурно-просветительская и финансово-хозяйственная.

Исходя из анализа опасных и вредных производственных факторов, выявлено, что основными являются нервно-психические перегрузки, недостаточная освещенность, возможность поражения электрическим током. [26]

Возможными аварийными ситуациями для Енисейской общеобразовательной школы №1 являются: пожар, короткое замыкание, прорыв водопровода. Данные ситуации могут вызвать остановку учебной деятельности и привести к травмированию персонала и учеников школы.

### **4.2. Инженерные и организационные решения по обеспечению безопасности работ**

Школа находится в г. Енисейске Красноярского края, режим работы: с 8-00 до 18-00 (при работе дополнительного образования – до 20-00), выходной воскресенье.

В г. Енисейске климат холодно-умеренный, со значительным количеством осадков. Среднегодовая температура  $-1,5^{\circ}\text{C}$ , среднегодовая норма осадков 468 мм. Абсолютный минимум зимой  $-58,8^{\circ}\text{C}$ , а абсолютный максимум летом  $+35,6^{\circ}\text{C}$ .

Климатические условия отличаются значительным разнообразием и контрастами. Для Енисейска, характерна преимущественно равнинная

местность, с островными лесостепями и плодородными почвами; короткое жаркое лето, продолжительная холодная зима, быстрая смена температур.

Оптимальные величины показателей микроклимата для школы в учебных классах представлены в таблице 11. [16]

Таблица 11 – Величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб (140-174)	21-23	20-24	20-24	0,1
Теплый	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Отопление в здании школы – водяное централизованное, вентиляция – вытяжная и естественная.

### 4.3 Санитарные требования к помещениям

Геометрические размеры здания школы 44 х 33 х 14 м, общая поэтажная площадь составляет 3440 м<sup>2</sup>.

Значения концентрации вредных веществ и пыли, вибрации, шума, инфра- и ультра- звука, излучения не превышают допустимых нормативов.

В здании школы имеются: кабинет медицинской помощи, туалеты и раковины, их количество соответствует заданным нормативам. [15]

В коридорах и учебных классах при системе искусственного освещения значение освещенности должно быть не менее 200 лк. [17]

Рабочее освещение предусмотрено для всех помещений школы, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. Для помещений, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения и различными режимами работы, необходимо раздельное управление освещением таких зон.

Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

При необходимости часть светильников рабочего или аварийного освещения может использоваться для дежурного освещения.

Нормируемые характеристики освещения в помещениях и снаружи здания школы обеспечиваются как светильниками рабочего освещения, так и совместным действием с ними светильников освещения безопасности и (или) эвакуационного освещения. [17]

#### **4.4 Обеспечение безопасности технологического процесса**

Аварийно-химически опасных, биологически опасных, радиоактивных веществ в деятельности учебного заведения не применяется.

Все имеющееся электрооборудование и осветительные приборы для помещений школы и прилегающей территории обеспечены электрическими сетями напряжением 220 и 380 В.

Для защиты персонала и учеников школы от поражения электрическим током все электрооборудование выбрано в соответствии с требованиями ПУЭ. [12]

Устройства электроустановок должны:

- не допускать появления опасного потенциала на токоведущих частях;
- исключать возможность случайного прикосновения к частям, находящимся под напряжением;
- обеспечивать надежность работы установок и удобства их обслуживания.

Основные способы и средства электрозащиты:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;

- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты. [12]

Так же необходимо соблюдать следующие условия:

- все электропомещения оборудовать автоматической установкой пожарной сигнализации;
- для отвода в землю атмосферного электричества при прямом ударе молнии, а также для постепенного уменьшения заряда облака на сооружениях установить молниеотводы;
- все открытые токоведущие части должны находиться в электропомещениях и в электрических шкафах, которые запираются на замок, и доступ к ним разрешён только специально обученному персоналу;
- электропроводка в местах, доступных для прикосновения, должна быть выполнена бронированным кабелем, проложена в специальных трубах или закрыта специальным кожухом. [12]

Произведем расчет заземляющего устройства для электрооборудования кухни, расположенной на первом этаже школы. [25]

Грунт вокруг здания школы – суглинок. Стержни распределены по контуру здания, имеющего размеры 44 х 33 м., на глубине 0,7м от поверхности земли, соединены между собой полосовой сталью 40х4 мм.

В качестве заземлителей используются стержни заданной длины  $l_c = 5$  м из труб диаметром  $d = 16$ мм. соединение на сварке стальной полосой  $b = 40$ мм.

Удельное сопротивление грунта с учётом сезонных колебаний влажности для вертикальных стержней рассчитаем по формуле:

$$\rho_{oc} = \psi_b \cdot \rho_o = 1,15 \cdot 100 = 115 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (9)$$

где  $\psi_b$  – коэффициент сезонности, выбирается в зависимости от климатической зоны, влажности грунта и конфигурации электродов (таблица 12),

$\rho_0$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м (таблица 13).

Таблица 12 – Признаки климатических зон и значения коэффициента  $\psi_b$

Данные, характеризующие климатические зоны и тип применяемых заземляющих электродов	Климатические зоны СНГ			
	1	2	3	4
Климатические признаки зон:				
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	от -20 до -15	от -14 до -10	от -10 до 0	от 0 до +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С.	от +16 до +18	от +18 до +22	от +22 до +24	от +24 до +26
Продолжительность заморозания вод, дн.	190-170	150	100	0
Значение коэффициента $\psi_b$ при применении стержневых электродов длиной 2 - 3 м и глубине заложения их вершины 0,5 - 0,8 м.	1,8-2	1,5-1,8	1,4-1,6	1,2-1,4
Значение коэффициента $\psi_b$ при применении протяжённых электродов и глубине заложения их вершины 0,8 м.	4,5-7,0	3,5-4,5	2,0-2,5	1,5-2,0
Значение коэффициента $\psi_b$ при длине 5 м и глубине заложения вершины 0,7-0,8 м.	1,35	1,25	1,15	1,1

Таблица 13 – Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов, Ом·м

Наименование грунта	Удельное сопротивление, Ом·м
Песок	700
Супесок	300
Суглинок	100
Глина	40
Садовая земля	70

Сопротивление растеканию тока одиночного стержня:

$$R_c = \frac{\rho_{oc}}{2\pi l_c} \left( \ln \left( \frac{2l_c}{d} \right) + 0,5 \ln \left( \frac{4t+l_c}{4t-l_c} \right) \right), \quad (10)$$

$$R_c = \frac{115}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left( \ln \left( \frac{2 \cdot 5}{0,016} \right) + 0,5 \ln \left( \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) \right) = 29,41 \text{ Ом.}$$

где  $t$  - расстояние от поверхности земли до середины стержня, м;

$\rho_{oc}$  - удельное сопротивление грунта с учётом сезонных колебаний влажности для вертикальных стержней, Ом·м;

$l_c$  - длина стержня, м;

$d$  - диаметр труб, мм.

Предварительное количество заземлителей:

$$n_{пр} = \frac{R_c}{R_3}, \quad (11)$$

$$n_{пр} = \frac{29,41}{4} \approx 7.$$

где  $R_c$  - сопротивление растеканию тока одиночного стержня, Ом;

$R_3$  –сопротивление растеканию тока в соответствии с ПУЭ. Для электроустановок с глухозаземлённой нейтралью напряжением 380 В – 4 Ом. В случае линейного напряжения 2 и 8 Ом – 660 и 220 В соответственно. При удельных сопротивлениях грунта более 10 Ом·м указанные значения



сопротивлений увеличивают прямо пропорционально сопротивлению грунта, делённому на 100.

Длина соединительной полосы при расположении по длине контура цеха:

$$l_{\pi} = (A + B) \cdot 2, \quad (12)$$

$$l_{\pi} = (44 + 33) \cdot 2 = 154 \text{ м.}$$

Расстояние между стержнями:

$$\alpha = \frac{l_{\pi}}{1,5 \cdot n_{\text{пр}}}, \quad (13)$$

$$\alpha = \frac{154}{1,5 \cdot 7} = 14,6 \text{ м.}$$

где  $l_{\pi}$  - длина соединительной полосы при расположении по длине контура цеха, м;

$n_{\text{пр}}$  - предварительное количество заземлителей.

Удельное сопротивление грунта для соединительной полосы рассчитаем по формуле:

$$\rho_{\text{сп}} = \psi_{\Gamma} \rho_0, \quad (14)$$

$$\rho_{\text{сп}} = 2,0 \cdot 100 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

где  $\psi_{\Gamma}$  - коэффициент сезонности для соединительной полосы;

$\rho_0$  - удельное сопротивление грунта, Ом·м.

Значения расчетных климатических коэффициентов сезонности сопротивления грунта указаны в таблице 14.

Таблица 14 – Значения расчетных климатических коэффициентов сезонности сопротивления грунта

Заземлитель	Климатическая зона			
	1	2	3	4
Стержневой	1,8	1,6	1,4	1,2
Полосовой	4,5	3,5	2,0	1,5

Сопротивление растеканию тока соединительной полосы:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho_{\text{сп}}}{2\pi l_{\Pi}} \ln \frac{2l_{\Pi}^2}{b H}, \quad (15)$$

$$R_{\Pi} = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 154} \cdot \ln \frac{2 \cdot 154^2}{0,4 \cdot 0,7} = 1,9 \text{ Ом.}$$

По таблице 15 определим коэффициент использования вертикальных стержней ( $\eta_c = 0,71$ ) и коэффициент использования соединительной полосы ( $\eta_{\Pi} = 0,87$ ) по таблице 16.

Таблица 15 – Коэффициенты использования вертикальных заземлителей

Число заземлителей	Отношение расстояний между заземлителями к их длине $a/l_{\Pi}$		
	1	2	3
	электроды размещены в ряд		
2	0,85	0,91	0,94
4	0,73	0,83	0,89
6	0,65	0,77	0,85
10	0,59	0,74	0,81
20	0,48	0,67	0,76
40	-	-	-
60	-	-	-
100	-	-	-

Таблица 16 – Коэффициенты использования горизонтальных заземлителей

Число заземлителей	Отношение расстояний между заземлителями к их длине $\alpha/l_n$		
	1	2	3
	электроды размещены в ряд		
2	0,85	0,94	0,96
4	0,66	0,8	0,92
6	0,72	0,84	0,88
10	0,62	0,75	0,82
20	0,42	0,56	0,68
40	-	-	-

Результирующее сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{\text{зy}} = \frac{R_{\text{с}}R_{\text{п}}}{(R_{\text{с}}\eta_{\text{п}})+(R_{\text{п}}n_{\text{пр}})}, \quad (16)$$

$$R_{\text{зy}} = \frac{29,41 \cdot 1,9}{(29,41 \cdot 0,87) + (1,9 \cdot 7)} = 1,4 \text{ Ом.}$$

Условие  $R_{\text{з}} > R_{\text{зy}}$  ( $40 \text{ Ом} > 1,40 \text{ Ом}$ ) выполняется.

Уточним количество стержней:

$$n = \frac{n_{\text{пр}}}{\eta_{\text{с}}}, \quad (17)$$

$$n = \frac{7}{0,71} = 10 \text{ шт.}$$

Расстояние между стержнями:

$$\alpha = \frac{l_n}{1,5 \cdot n}, \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{154}{1,5 \cdot 10} = 10,2 \text{ м.}$$

Вывод: В ходе проведения расчёта заземляющего устройства для электрооборудования кухни, все основные параметры принятого нами заземлителя (форма, размеры, размещение электродов в земле и относительно друг друга) выбраны правильно и, следовательно, напряжения прикосновения и шага находятся в допустимых пределах, напряжения прикосновения и шага находятся в допустимых пределах.

#### **4.5. Обеспечение взрывопожарной и пожарной безопасности**

Здание Енисейской общеобразовательной школы имеет степень огнестойкости 3. [26]

Основными причинами пожаров в помещениях школы являются:

- нарушения правил монтажа электрооборудования;
- короткое замыкание электросетей вследствие их перегрузки;
- нарушения противопожарного режима на объекте;
- последствия детской шалости с огнем.

Горючие вещества и жидкости на территории школы не применяются.

Первичными средствами пожаротушения являются огнетушители в количестве 24 шт., которые находятся: в подвале – 5 шт., на 1 этаже – 8 шт., на 2 этаже – 6 шт., на 3 этаже – 5 шт.

В здании школы установлена система автоматической противопожарной защиты.

#### **4.6. Обеспечение безопасности в аварийных и чрезвычайных ситуациях**

Наиболее вероятными аварийными ситуациями в Енисейской общеобразовательной школе №1 могут быть: пожар, короткое замыкание, прорыв водопровода, прорыв канализации. Поражающими факторами от пожара являются: дым, огонь, тепловой поток.

Существует риск перехода огня на соседние здания (рисунок 2).

Основными видами деятельности школы являются образовательная, творческая, культурно-просветительская и финансово-хозяйственная.

Учебный процесс в школе проходит ежедневно, кроме воскресенья.

Общая численность в школе составляет 476 человек, из них 410 – учащиеся, и 67 – персонал.

Здание школы трёхэтажное с подвалом, кирпичное. Степень огнестойкости – 3. [26]

Внешние и внутренние источники для образования вторичных факторов поражения отсутствуют.

Связь: городская телефонная сеть, обеспечивается через АТС.

## 5 Экономическая часть

### 5.1 Расчет затрат на приобретение оборудования системы речевого оповещения

Оценим затраты на приобретение и монтаж в Енисейской общеобразовательной школе №1 установки системы речевого оповещения.

Стоимость каждого оборудования приведены в таблице 17.

Таблица 17 - Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Количество шт, м	Цена, руб	Сумма, руб
Акустическая система «АС-2-2»	63 шт	612	38556
Прибор управления оповещением «Рокот-2»	1 шт	6516	6516

Итоговая сумма затрат на приобретение оборудования составляет:

$$F_{\text{по}} = N_{\text{ас}} \cdot F_{\text{ас}} + N_{\text{пуо}} \cdot F_{\text{пуо}}, \quad (19)$$

где  $N_{\text{ас}}$  – количество «АС-2-2»;

$F_{\text{ас}}$  – стоимость 1 шт. «АС-2-2»;

$N_{\text{пуо}}$  – количество «Рокот-2»;

$F_{\text{пуо}}$  – стоимость 1 шт. «Рокот-2».

$$F_{\text{по}} = 63 \cdot 612 + 1 \cdot 6516 = 45072 \text{ руб.}$$

## 5.2 Расчет затрат на монтаж оборудования

Монтаж оборудования приведены в таблице 18.

Таблица 18 - Стоимость монтажа оборудования

Наименование оборудования	Стоимость монтажа прибора, руб	Количество, шт	Сумма, руб
Акустическая система «АС-2-2»	500	63	31500
Прибор управления оповещением «Рокот-2»	1500	1	1500

Монтаж всего оборудования составит:

$$F_{\text{мпо}} = N_{\text{ас}} \cdot F_{\text{мас}} + N_{\text{пуо}} \cdot F_{\text{мпуо}}, \quad (20)$$

где  $N_{\text{ас}}$  – количество «АС-2-2»;

$F_{\text{мас}}$  – стоимость монтажа 1 шт. «АС-2-2»;

$N_{\text{пуо}}$  – количество «Рокот-2»;

$F_{\text{мпуо}}$  – стоимость монтажа 1 шт. «Рокот-2».

$$F_{\text{по}} = 63 \cdot 500 + 1 \cdot 1500 = 30000 \text{ руб.}$$

Итоговая сумма  $F_{\text{рс}}$  на приобретение и монтаж системы речевого оповещения составит:

$$F_{\text{рс}} = F_{\text{по}} + F_{\text{мпо}} \quad (21)$$

$$F_{\text{рс}} = 45072 + 30000 = 75072 \text{ руб.}$$

### 5.3 Расчет основной заработной платы

На статью «Основная заработная плата» относятся выплаты по заработной плате, исчисленные из должностных окладов и тарифных ставок специалистов подразделения, разрабатывающих процессы, премии, выплаты районных коэффициентов.

Должностной месячный оклад представляет собой абсолютный размер заработной платы, устанавливаемый в соответствии с занимаемой должностью. Окладная система оплаты труда может предусматривать элементы премирования за количественные и качественные показатели.

Расчет фонда оплаты труда для служащих определяется по среднему окладу (О) и размеру премии – 50%, каждое предприятие самостоятельно устанавливает систему премирования сотрудников и периодичность выплаты денежного вознаграждения или поощрения. Выплата премии напрямую зависит от результатов труда коллектива и ее сумма должна быть указана в трудовом договоре и внутренних правовых актах предприятия в твердом или в процентном исчислении от заработка.

Работу по установке выполняют:

– инженер - проектировщик

Должностной месячный оклад определяется на предприятии.

Инженер-проектировщик тратит на проектирование и монтаж установки 1 месяц.

Норматив премии установлен в размере 50% от должностного оклада, районный коэффициент составляет 30% от суммы должностного оклада и премии. Стаж инженера свыше 3х лет, значит, надбавка за непрерывный стаж работы составляет 10% от суммы должностного оклада и премии.

На основании выше приведенных расчетов основная заработная плата приведена в таблице 19.



Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

Должность	Мес. должн. оклад, руб.	Время вып. работы, мес.	Сумма должн. оклада, руб.	Премия (50%) руб.	Район. коэф. (30%), руб.	Надбавка за непр.стаж (30%), руб.	Итого, руб.
Инженер-проектировщик	30000	1	30000	15000	6000	4500 (3000+1500)	49500

#### Расчет дополнительной заработной платы

На статью «Дополнительная заработная плата» относятся выплаты, предусмотренные законодательством за непроработанное (неявочное) время: оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата льготных часов подростков, оплата перерывов в работе кормящих матерей; оплата времени, связанного с прохождением медицинских осмотров; компенсации на неиспользованный отпуск; выплата вознаграждения за выслугу лет.

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$ЗП_{\text{доп}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot \frac{У_{\text{ул}}}{100} \quad (22)$$

где  $ЗП_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$ЗП_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.;

$У_{\text{ул}}$  – размер дополнительной заработной платы в процентах от основной заработной платы работников.

На основании данных нормативов дополнительная заработная плата установлена в размере 10% от основной заработной платы. Дополнительная заработная плата по формуле 26 составляет

$$ЗП_{\text{доп}} = 49500 \cdot \frac{10}{100} = 4950 \text{руб.}$$

#### Отчисления на социальные нужды

На статью «Отчисления на социальные нужды» относятся обязательные отчисления по установленным законодательством нормам

органам ГСС, ПФР и МС. Страховые взносы во внебюджетные фонды составляют 30% от суммы основной и дополнительной заработной платы. Страхование от несчастных случаев на предприятии 0,7%.

Размер отчислений на социальные нужды определяется по формуле:

$$CH = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) \cdot Y_{\text{сн}} / 100 \quad (23),$$

где СН – отчисления на социальные нужды, руб.;

$ЗП_{\text{осн}}$  и  $ЗП_{\text{доп}}$  – то же, что и в формуле (22);

$Y_{\text{сн}}$  – сумма отчислений на социальные нужды и на страхование от несчастных случаев.

Отчисления на социальные нужды составят  $Y_{\text{сн}} = 30,7\%$ .

Размер отчислений на социальные нужды составляет

$$CH = (49500 + 4950) \cdot \frac{30,7}{100} = 16716,15 \text{ руб.}$$

#### Калькуляция плановой себестоимости

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости. Полученные результаты приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Калькуляция плановой себестоимости

Статьи затрат	Сумма, руб
Основная заработная плата	49500
Дополнительная заработная плата	4950
Отчисления на социальные нужды	16716,15
Затраты на оборудование и установку	78072
Плановая себестоимость	149238

#### **5.4 Расчет затрат на увеличение ширины эвакуационных выходов**

Стоимость алмазной резки на расширение эвакуационных выходов до требуемой ширины составит:

$$F_{\text{тр}} = N_{\text{в}} \cdot F_{\text{Эв}}, \quad (24)$$

где  $F_{\text{Эв}}$  – стоимость расширения одного эвакуационного выхода;

$N$  – количество эвакуационных выходов.

$$35 \cdot 11300 = 395500 \text{ руб.}$$

#### **5.5 Расчет затрат на установку дверей**

Затраты на дверной блок из ПВХ профилей, без порога, однопольный, глухой, ДПВ Г Б Л/П высотой 2100 мм, шириной 910 мм.

$$F_{\text{бл}} = N_{\text{д}} \cdot F_{\text{дв}}, \quad (25)$$

где  $F_{\text{дв}}$  – стоимость однопольный, глухой двери ДПВ Г Б Л/П;

$N_{\text{д}}$  – количество дверей, подлежащих установке.

$$35 \cdot 9600 = 336000 \text{ руб.}$$

Стоимость монтажа дверей:

$$F_{\text{мд}} = N_{\text{д}} \cdot F_{\text{и}}, \quad (26)$$

где  $F_{\text{и}}$  – стоимость монтажа одной двери;

$N_{\text{д}}$  – количество дверей, подлежащих установке.

$$35 \cdot 1300 = 45500 \text{ руб.}$$

Итоговая стоимость дверей с монтажом:

$$F_{об} = F_{тр} + F_{бл} + F_{мд}, \quad (27)$$

$$F_{об} = 395500 + 336000 + 45500 = 777600 \text{ руб.}$$

## 5.6 Затраты на расчет пожарного риска

Рассмотрим затраты на расчет пожарного риска в здании Енисейской средней общеобразовательной школы №1.

Расчет делает сотрудник организации, аккредитованной в установленном порядке.

Стоимость расчёта пожарных рисков определяется различными характеристика здания:

- этажность здания;
- общая площадь здания;
- класс функциональной пожарной опасности;
- архитектурные особенности здания.

На основе анализа стоимостной оценки расчета пожарного риска нескольких организаций, которые занимаются расчетом пожарного риска для различных объектов, получил среднюю стоимость расчёта, которая составляет 100000 руб.

## 5.7 Экономическая эффективность

Экономическую эффективность если пожарные риски не превышают установленную норму:

Затраты на расчет пожарных рисков составляют 100000 руб.

Затраты на установку речевой системы оповещения составляют 149238 руб.

Затраты на установку дверей составляют 777000 руб.

Для расчета экономической эффективности принимается наиболее дешевый вариант, то есть установка речевой системы оповещения.

Расчет экономической эффективности, при условии, что пожарные риски не превышают установленную норму:

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = F_{\text{рс общ}} - P_{\text{сц}}, \quad (28)$$

где  $F_{\text{рс общ}}$  – плановая стоимость установки речевой системы оповещения;

$\mathcal{E}_{\text{эф}}$  – экономическая эффективность.

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = 149238 - 100000 = 49238 \text{ руб.}$$

При условии, что пожарные риски не превышают установленную норму, экономическая эффективность составит 49238 руб.

Экономическую эффективность если пожарные риски превышают установленную норму:

Затраты на установку речевой системы оповещения составляют 149238 руб.

Затраты на установку дверей составляют 777000 руб.

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = F_{\text{общ}} - F_{\text{рс общ}} \quad (29)$$

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = 777000 - 149238 = 627762 \text{ руб.}$$

При условии, что пожарные риски превышают установленную норму, экономическая эффективность составит 627762 рублей.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной работе дана характеристика объекта защиты, рассчитано время эвакуации, спрогнозированы опасные факторы пожара и предложены меры по обеспечению пожарной безопасности в Енисейской средней общеобразовательной школе №1.

При расчете использовалось программное обеспечение «Urban», которое позволило с помощью моделирования двух сценариев определить наиболее уязвимые места на объекте для разработки мер противопожарной защиты.

## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

**ОФП** – опасные факторы пожара

**МАОУ** – муниципальное автономное образовательное учреждение

**СОШ** – средняя образовательная школа

**СОУЭ** – система оповещения и управления эвакуацией

**ППК** – прибор приемно-контрольный

**ИПР** – извещатель пожарный ручной

**ФЗ** – Федеральный закон

**ГОСТ** – государственный стандарт

**АУПС** - автоматическая установка пожарной сигнализации

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 12.0.003. Опасные и вредные производственные факторы;
2. ГОСТ 12.1.004-91\* ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования;
3. ГОСТ 12.1.005-88. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;
4. Грушевский Б.В. и др. "Пожарная профилактика в строительстве" - М. ВИПТШ МВД СССР, 1985;
5. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. Учебное пособие. АГПС МВД РФ, М. – 2000;
6. НПБ 104-03 «Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в зданиях и сооружениях»;
7. НПБ 110-03 «Перечень зданий и сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией»;
8. Открытый источник в интернете <https://ru.climate-data.org/location/28508>;
9. Пособие по применению "Методики определения расчетных величин индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности". М.: ВНИИПО, 2014;
10. Постановление Правительства Российской Федерации "О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска" от 31 марта 2009 г. №272;
11. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 «О противопожарном режиме»;
12. Правила устройства электроустановок ПУЭ (утв. Минэнерго СССР) (6-ое издание);
13. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. - М., 1979;



14. Приказ России от 30.06.2009 №382 (ред. от 02.12.2015) "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности" (Зарегистрировано в Минюсте России 06.08.2009 №14486);
15. СанПиН 2.1.2.1002-00. «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям»;
16. СанПиН 2.2.4.548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;
17. СНиП 23-05-95. «Естественное и искусственное освещение»;
18. СП 1.13130.2009 "Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы";
19. СП 118.13330.2012 "Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009";
20. СП 2.13130.2012 "Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты";
21. СП 3.13130.2009 "Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности";
22. СП 4.13130.2013 "Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям";
23. СП 5.13130.2009 "Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования".
24. СП 7.13130.2013 "Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности";
25. Тихонова О.В., Кондрашова О.В. – Расчет защитного заземления и зануления – НТИ «МГУДТ»2012. – 7 – 12 с.;

26. Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности";
27. Федеральный закон от 27.12.2002 г. №184 "О техническом регулировании";
28. Федеральный закон от 30.12.2009 г. №384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений";
29. Холщевников В.В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. - М.: МИПБ МВД России, 1999. -93с.;
30. Эвакуация и поведение людей при пожарах: учеб. пособие /Холщевников В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосохов И. Р. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 262 с.